

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2002年 7月 4日

出 願 番 号
Application Number:

特願2002-196291

[ST.10/C]:

[JP2002-196291]

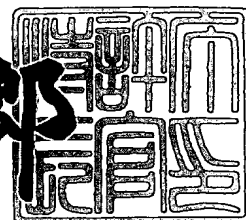
出 願 人
Applicant(s):

トヨタ自動車株式会社

2003年 5月20日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3037296

【書類名】 特許願

【整理番号】 PA14F103

【提出日】 平成14年 7月 4日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 F02D 19/02
F02D 41/02
F02D 13/02
F02B 11/00
F02B 17/00

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

【氏名】 小林 辰夫

【特許出願人】

【識別番号】 000003207

【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社

【代理人】

【識別番号】 110000028

【氏名又は名称】 特許業務法人 明成国際特許事務所

【代表者】 下出 隆史

【電話番号】 052-218-5061

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 133917

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0105457

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 混合気を圧縮自着火させる内燃機関、および内燃機関の制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 燃料と空気との混合気を燃焼室内で圧縮し、該圧縮した混合気を燃焼させて動力を出力する内燃機関であって、

前記燃焼室内で前記混合気を圧縮する混合気圧縮機構と、

前記混合気圧縮機構による圧縮では自着火しない割合で第 1 の燃料と空気とが混合した第 1 の混合気を、前記燃焼室内に形成する第 1 の混合気形成手段と、

前記第 1 の燃料よりもオクタン価の高い第 2 の燃料を前記燃焼室内の一部の領域に供給することによって第 2 の混合気を形成する第 2 の混合気形成手段と、

前記第 2 の混合気に点火することにより前記第 1 の混合気を圧縮して自着火させる点火手段と

を備える内燃機関。

【請求項 2】 請求項 1 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記第 2 の燃料として、可燃性の気体を噴射することにより前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 3】 請求項 2 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記第 2 の燃料として、水素ガスを噴射することにより前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 4】 請求項 1 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記第 2 の燃料として、アルコール類を噴射することにより前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 5】 請求項 4 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記第 2 の燃料として、メチルアルコールを噴射することにより前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 6】 請求項 1 記載の内燃機関であって、

前記内燃機関が発生すべき要求トルクを検出する要求トルク検出手段と、

前記第 1 の燃料と空気とが前記混合気圧縮機構の圧縮により自着火可能な割合

で混合した第 3 の混合気を、前記燃焼室内に形成する第 3 の混合気形成手段と、

前記検出した要求トルクが所定の閾値より小さい場合には、前記第 1 の混合気形成手段および第 2 の混合気形成手段の動作を禁止し、該要求トルクが該閾値を超える場合には、前記第 3 の混合気形成手段の動作を禁止することによって、前記燃焼室内における混合気の形成を制御する混合気形成制御手段と

を備える内燃機関。

【請求項 7】 請求項 6 記載の内燃機関であって、

前記混合気形成制御手段は、前記検出した要求トルクが前記閾値以下の場合には、前記点火手段の動作も禁止する手段である内燃機関。

【請求項 8】 請求項 2 または請求項 3 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の燃料を前記燃焼室内に直接噴射する筒内噴射弁を備えるとともに、

前記混合気圧縮機構は、クランク軸を回転させて前記燃焼室内でピストンを上昇させることにより、該燃焼室内の混合気を圧縮する機構であり、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記混合気の圧縮後に前記ピストン位置が最も高くなる圧縮上死点を基準として、前記クランク軸の回転角度で 3 0 度前から該圧縮上死点までの所定の期間に、前記筒内噴射弁から前記第 2 の燃料を噴射する手段である内燃機関。

【請求項 9】 前記ピストンの頂面には、前記筒内噴射弁から噴射された前記第 2 の燃料が前記第 2 の混合気を形成する凹部が設けられている請求項 8 記載の内燃機関。

【請求項 1 0】 前記凹部が前記ピストンの頂面の略中央に設けられている請求項 9 記載の内燃機関。

【請求項 1 1】 請求項 9 記載の内燃機関であって、

前記凹部は、該凹部の側壁と前記ピストン頂面とが交わる淵部の少なくとも一部が鋭角に形成された凹部である内燃機関。

【請求項 1 2】 前記燃焼室内で前記ピストン頂面と対向する側の面には、該ピストン頂面の凹部と対向する位置に第 2 の凹部が設けられている請求項 9 記載の内燃機関。

【請求項 1 3】 前記ピストン頂面には、前記筒内噴射弁から噴射された前

記第 2 の燃料を前記凹部に導くための案内溝が設けられている請求項 9 記載の内燃機関。

【請求項 1 4】 請求項 8 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記点火手段が前記第 2 の混合気に点火する時期を基準として定められた所定の時期に、前記筒内噴射弁から前記第 2 の燃料を噴射することによって該第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 記載の内燃機関であって、

前記内燃機関のノックの発生を検出するノック検出手段と、

前記ノックが検出された場合に、前記第 2 の混合気に点火する時期を遅らせる点火時期遅延手段と

を備え、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記点火時期の遅延に合わせて、前記第 2 の燃料の噴射時期を遅延させることによって前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 1 6】 請求項 1 4 記載の内燃機関であって、

前記燃焼室から排出される排気ガス中に含まれる窒素酸化物の濃度を検出する NO_x 濃度検出手段と、

前記検出された濃度が所定の閾値を超えた場合に、前記第 2 の混合気に点火する時期を遅らせる点火時期遅延手段と

を備え、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記点火時期の遅延に合わせて、前記第 2 の燃料の噴射時期を遅延させることによって前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 1 7】 請求項 4 または請求項 5 記載の内燃機関であって、

前記第 2 の燃料を前記燃焼室内に直接噴射する筒内噴射弁を備えるとともに、

前記混合気圧縮機構は、クランク軸を回転させて前記燃焼室内でピストンを上昇させることにより、該燃焼室内の混合気を圧縮する機構であり、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記混合気の圧縮後に前記ピストン位置が最も高くなる圧縮上死点を基準として、前記クランク軸の回転角度で 90 度前から 3

0 度前までの所定の期間に、前記筒内噴射弁から前記第 2 の燃料を噴射することによって前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 1 8】 請求項 1 記載の内燃機関であって、
前記燃焼室内に供給される空気が通過する吸気通路と、
前記吸気通路を開閉する吸気弁と
を備え、

前記第 1 の混合気形成手段は、前記第 1 の燃料を、前記吸気弁の上流側の前記吸気通路内に噴射することによって前記第 1 の混合気を形成する手段であり、

前記第 2 の混合気形成手段は、前記第 2 の燃料を、前記燃焼室内に噴射することによって前記第 2 の混合気を形成する手段である内燃機関。

【請求項 1 9】 請求項 1 記載の内燃機関であって、
前記燃焼室から排出される排気ガスが通過する排気通路と、
前記排気通路内に搭載されて、前記排気ガス中に含まれる有害成分を浄化する浄化触媒と、

前記排気通路内に前記浄化触媒の上流側から前記第 2 の燃料を噴射するとともに、該噴射した燃料に点火することによって該浄化触媒を暖機する触媒暖機手段と

を備える内燃機関。

【請求項 2 0】 請求項 1 記載の内燃機関であって、

前記混合気圧縮機構は、クランク軸を回転させて前記燃焼室内でピストンを上昇させることにより、該燃焼室内の混合気を圧縮する機構であり、

前記燃焼室内に供給される空気が通過する吸気通路を、前記クランク軸の回転に同期して開閉する吸気弁と、

前記燃焼室から排出される排気ガスが通過する排気通路を、前記クランク軸の回転に同期して開閉する排気弁と、

前記吸気弁および前記排気弁の開閉時期を切り換えることにより、前記内燃機関の運転状態を、4 サイクル運転と 2 サイクル運転とに切り換える運転状態切換手段と、

前記クランク軸の回転速度を検出する回転速度検出手段と、

前記検出した回転速度が所定の閾値より小さい場合には、前記内燃機関が4サイクル運転され、該検出した回転速度が該閾値より大きい場合には、2サイクル運転されるよう、前記運転状態切換手段を制御する運転制御手段と

を備える内燃機関。

【請求項21】 請求項20記載の内燃機関であって、

電力の供給あるいは切断の少なくとも一方を行うことによって前記吸気弁を開閉する吸気弁駆動手段と、

電力の供給あるいは切断の少なくとも一方を行うことによって前記排気弁を開閉する排気弁駆動手段と

を備え、

前記運転状態切換手段は、前記吸気弁駆動手段および前記排気弁駆動手段へ電力を供給あるいは切断する時期の少なくとも一方を制御することにより、前記内燃機関の運転状態を切り換える手段である内燃機関。

【請求項22】 燃料と空気との混合気を燃焼室内で圧縮し、該圧縮した混合気を燃焼させて動力を出力する内燃機関の制御装置であって、

前記圧縮によっては自着火しない割合で第1の燃料と空気とが混合した第1の混合気を、前記燃焼室内に形成する第1の混合気形成手段と、

前記第1の燃料よりもオクタン価の高い第2の燃料を前記燃焼室内の一部の領域に供給することによって第2の混合気を形成する第2の混合気形成手段と、

前記第2の混合気に点火することにより前記第1の混合気を圧縮して自着火させる点火手段と

を備える制御装置。

【請求項23】 燃料と空気との混合気を燃焼室内で圧縮し、該圧縮した混合気を燃焼させて動力を出力する内燃機関の制御方法であって、

前記圧縮によっては自着火しない割合で第1の燃料と空気とが混合した第1の混合気を、前記燃焼室内に形成する第1の工程と、

前記第1の燃料よりもオクタン価の高い第2の燃料を前記燃焼室内の一部の領域に供給することによって第2の混合気を形成する第2の工程と、

前記第2の混合気に点火することにより前記第1の混合気を圧縮して自着火さ

せる第 3 の工程と

を備える制御方法。

【請求項 2 4】 請求項 2 3 記載の内燃機関の制御方法であって、

前記第 2 の工程は、前記第 2 の燃料として、可燃性の気体を噴射することにより前記第 2 の混合気を形成する工程である内燃機関の制御方法。

【請求項 2 5】 請求項 2 3 記載の内燃機関の制御方法であって、

前記第 2 の工程は、前記第 2 の燃料として、アルコール類を噴射することにより前記第 2 の混合気を形成する工程である内燃機関の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、燃焼室内で燃料と空気との混合気を圧縮し、自着火させることによって動力を取り出す技術に関し、より詳しくは、混合気の自着火を制御することで、燃焼により生じる大気汚染物質の発生を抑制しつつ、高い効率で動力を取り出す技術に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

内燃機関は、比較的小型でありながら大きな動力を発生させることができるので、自動車や、船舶、航空機など種々の移動手段の動力源として、あるいは工場などの定置式の動力発生源として広く使用されている。これら内燃機関はいずれも、燃焼室内で燃料を燃焼させ、このときに発生する圧力を、機械的仕事に変換して出力することを動作原理としている。

【0 0 0 3】

近年では、地球環境を保護するために、内燃機関から排出される大気汚染物質の排出量を低減させることが、強く要請されるようになってきた。また、地球の温暖化要因となる二酸化炭素の排出量を低減する観点から、あるいは内燃機関の運転コストを低減させるために、燃料消費量の更なる低減が強く要請されるようになってきた。

【0 0 0 4】

これらの要請に応えるべく、混合気を燃焼室内で圧縮自着火させる燃焼方式（本明細書では、この燃焼方式を「予混合圧縮自着火燃焼方式」と呼ぶ）の内燃機関が注目されている。詳細には後述するが、予混合圧縮自着火燃焼方式を採用した内燃機関は、排気ガス中に含まれる大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時に、しかも大幅に低減することが可能と考えられている。しかし、かかる燃焼方式は混合気を圧縮自着火させている関係上、内燃機関の運転条件によっては混合気が自着火する時期が早過ぎて圧縮中に自着火し、強いノックが発生することがある。

【 0 0 0 5 】

そこで、燃焼室内で燃料濃度が次第に小さくなるような混合気を形成しておき、燃料濃度が大きい側の一部の混合気に点火することで、残余の混合気の自着火時期を制御可能とする技術が提案されている（特開 2 0 0 1 - 2 5 4 6 6 0 号）。かかる技術においては、一部の混合気に点火して燃焼させることで、燃焼室内の圧力を上昇させて残余の混合気を圧縮して自着火させる。ここで、圧縮された混合気が自着火するまでの遅れ時間（自着火遅れ時間）は、燃料濃度が小さくなるほど長くなるので、圧縮された残余の混合気は、一度に自着火することなく、燃料濃度の大きい領域から次々と自着火していく。こうすれば、混合気に点火する時期を制御することで、一連の自着火が開始される時期を制御することができ、ノックの発生を回避することが可能である。

【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、実際には、こうした技術を適用した場合でも、混合気の自着火時期を確実に制御してノックの発生を回避することは、必ずしも容易なことではない。何故なら、混合気に点火するためには、燃料が空気と混じり合って混合気を形成していなければならない、従って、燃焼室内に燃料を噴射してから点火するまでの間には、燃料が空気と混じり合うためのある程度の時間を確保しておく必要がある。ところが、内燃機関の運転条件によっては、燃料と空気とが混じり合う間に自着火してしまうことがあり、この様な場合は点火前に混合気が自着火してしまうので、点火時期によって自着火時期を制御することはできない。

【 0 0 0 7 】

もちろん、燃焼室全体の燃料濃度を小さくすれば自着火遅れ時間が長くなるので、点火前に混合気が自着火してしまうことを回避することができるが、燃料濃度があまりに小さくなると今度は混合気に点火することが困難になってしまう。

【 0 0 0 8 】

この発明は従来技術における上述した課題を解決するためになされたものであり、予混合圧縮自着火燃焼方式を適用した内燃機関において、混合気の自着火時期を確実に制御可能とする技術の提供を目的とする。

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段およびその作用・効果】

上述の課題の少なくとも一部を解決するため、本発明の内燃機関は次の構成を採用した。すなわち、

燃料と空気との混合気を燃焼室内で圧縮し、該圧縮した混合気を燃焼させて動力を出力する内燃機関であって、

前記燃焼室内で前記混合気を圧縮する混合気圧縮機構と、

前記混合気圧縮機構による圧縮では自着火しない割合で第 1 の燃料と空気とが混合した第 1 の混合気を、前記燃焼室内に形成する第 1 の混合気形成手段と、

前記第 1 の燃料よりもオクタン価の高い第 2 の燃料を前記燃焼室内の一部の領域に供給することによって第 2 の混合気を形成する第 2 の混合気形成手段と、

前記第 2 の混合気に点火することにより前記第 1 の混合気を圧縮して自着火させる点火手段と

を備えることを要旨とする。

【 0 0 1 0 】

また、上記の内燃機関に対応する本発明の制御方法は、

燃料と空気との混合気を燃焼室内で圧縮し、該圧縮した混合気を燃焼させて動力を出力する内燃機関の制御方法であって、

前記圧縮によっては自着火しない割合で第 1 の燃料と空気とが混合した第 1 の混合気を、前記燃焼室内に形成する第 1 の工程と、

前記第 1 の燃料よりもオクタン価の高い第 2 の燃料を前記燃焼室内の一部の領

域に供給することによって第2の混合気を形成する第2の工程と、

前記第2の混合気に点火することにより前記第1の混合気を圧縮して自着火させる第3の工程と

を備えることを要旨とする。

【0011】

更に、上記の制御方法に対応する本発明の制御装置は、

燃料と空気との混合気を燃焼室内で圧縮し、該圧縮した混合気を燃焼させて動力を出力する内燃機関の制御装置であって、

前記圧縮によっては自着火しない割合で第1の燃料と空気とが混合した第1の混合気を、前記燃焼室内に形成する第1の混合気形成手段と、

前記第1の燃料よりもオクタン価の高い第2の燃料を前記燃焼室内の一部の領域に供給することによって第2の混合気を形成する第2の混合気形成手段と、

前記第2の混合気に点火することにより前記第1の混合気を圧縮して自着火させる点火手段と

を備えることを要旨とする。

【0012】

こうした本発明の内燃機関、内燃機関の制御方法、あるいは内燃機関の制御装置においては、燃焼室内で圧縮されただけでは自着火しない割合で第1の燃料と空気とが混合した第1の混合気を、燃焼室内に形成する。次いで、第1の燃料よりもオクタン価の高い第2の燃料を該燃焼室内の一部の領域に供給することにより、第2の混合気を形成する。こうして形成した第2の混合気に点火することによって、該燃焼室内の圧力を上昇させ、第1の混合気を圧縮して自着火させる。

【0013】

第1の混合気は燃焼室内で圧縮されただけでは自着火することではなく、また、第2の燃料は、第1の燃料よりもオクタン価が高い自着火し難い燃料であるため、燃焼室内に形成した混合気が圧縮中に自着火することはない。従って、第2の混合気は点火によって燃焼が開始され、かかる燃焼によって第1の混合気を圧縮し自着火させる。こうすれば、第2の混合気に点火する時期を制御することで、第1の混合気を所望の時期に自着火させることができる。その結果、内燃機関が

どのような条件で運転されている場合でも、内燃機関をロックさせることなく、混合気を圧縮自着火させながら運転することが可能となる。詳細には後述するが、混合気を圧縮自着火させながら内燃機関を運転した場合、該内燃機関から排出される大気汚染物質の排出量および燃料消費量を同時に且つ大幅に減少することが知られている。従って、こうして内燃機関の運転条件に関わらず混合気を圧縮自着火させながら運転することができれば、大気汚染物質の排出量および燃料消費量をより一層減少させることが可能となって好ましい。

【 0 0 1 4 】

こうした内燃機関、制御方法、および制御装置においては、前記第 2 の燃料として、可燃性の気体を噴射することにより前記第 2 の混合気を形成することとしても良い。あるいは、該第 2 の燃料として、アルコール類を噴射することにより該第 2 の混合気を形成することとしても良い。

【 0 0 1 5 】

前記第 2 の燃料として気体を噴射した場合は、噴射した燃料は速やかに空気と混合して第 2 の混合気を形成するので、確実に点火することが可能となるので好ましい。一方、アルコール類は可燃性の気体よりも単位体積あたりの発熱量が大きく、気体のように加圧して搭載する必要がないので、取り扱いが容易となって好適である。

【 0 0 1 6 】

こうした可燃性の気体としては、水素ガスを初めとして、メタンガス、エタンガス、天然ガス、プロパンガスなどを用いることができる。また、アルコール類としてはメチルアルコールやエチルアルコールなどを用いることができる。これらは、入手が容易であることから、第 2 の燃料として好適に適用することができる。

【 0 0 1 7 】

可燃性の気体の中で特に水素ガスは、自着火し難く、その一方で点火し易いという特性がある。このため、第 2 の燃料として水素ガスを用いれば、第 2 の混合気に確実に点火することができ、第 1 の混合気を所望の時期に確実に自着火させることが可能となるので好適である。

【 0 0 1 8 】

更に、水素ガスは、点火後、着火するまでの着火遅れ時間も短いといった特長がある。従って、燃焼室内での混合気の形成状態が変動するといった理由から着火遅れ時間が変動し易い場合でも、第2の混合気の着火時期が大きく変動することはない。このため、第1の混合気を所望の時期に確実に圧縮して自着火させることが可能となるので好適である。

【 0 0 1 9 】

また、アルコール類の中では、特にメチルアルコールが入手が容易であり、オクタン価が高いので、前記第2の燃料として好適に用いることができる。

【 0 0 2 0 】

上述した内燃機関においては、ノックが発生し難い運転条件では、第2の燃料を噴射することなく、第1の燃料と空気との混合気を圧縮自着火させて運転することとしても良い。すなわち、内燃機関が発生すべき要求トルクを検出して、要求トルクが所定の閾値より小さい場合には、前記第1の混合気に代えて、第3の混合気を前記燃焼室内に形成する。ここで、第3の混合気は、前記第1の燃料と空気とが、該燃焼室内で圧縮されることによって自着火可能な割合で混合した混合気である。また、第2の燃料を噴射しない場合には、前記燃焼室内に形成された混合気への点火を行わないこととしても良い。

【 0 0 2 1 】

要求トルクが小さく条件ではノックは発生し難いので、かかる場合には第2の燃料を噴射することなく燃焼室で混合気を自着火させることとすれば、該第2の燃料を節約することができるので好ましい。また、こうして第1の燃料と空気との混合気を自着火させる場合は、燃焼室内の混合気への点火は不要となる。

【 0 0 2 2 】

前記第2の燃料として可燃性の気体を噴射する内燃機関においては、燃焼室内でピストンを上昇させることによって混合気を圧縮するとともに、該混合気の圧縮後にピストン位置が最も高くなる圧縮上死点を基準として、クランク軸の回転角度で30度前から該圧縮上死点までの所定の期間に、該第2の燃料を燃焼室内に直接噴射することによって第2の混合気を形成することとしても良い。

【 0 0 2 3 】

可燃性の気体を噴射した場合、気体は空気と速やかに混合する。このことから、前記第 2 の燃料として可燃性の気体を燃焼室内に直接噴射する場合は、圧縮上死点を基準として、クランク軸の回転角度で 3 0 度前から圧縮上死点までの所定の期間に噴射してやれば、該燃焼室内に前記第 2 の混合気を簡便に形成することが可能となる。

【 0 0 2 4 】

こうした内燃機関においては、燃焼室内に直接噴射された第 2 の燃料が前記第 2 の混合気を形成する凹部を、前記ピストンの頂面に形成することとしても良い。

【 0 0 2 5 】

こうしてピストン頂面に設けられた凹部で前記第 2 の混合気を形成してやれば、該第 2 の混合気が燃焼室内に広がり難くすることができ、従って、該第 2 の混合気に確実に点火することが可能となるので好ましい。

【 0 0 2 6 】

こうした凹部は、ピストン頂面の略中央に設けることとしても良い。

【 0 0 2 7 】

凹部をピストン頂面の略中央に設けておけば、第 2 の混合気は燃焼室内の略中央に形成されることになるので、該第 2 の混合気に点火する位置も燃焼室内の略中央となる。混合気に点火する点火手段は、燃焼室の略中央であれば比較的容易に設けることができるので、こうして凹部をピストン頂面の略中央に設けるとすれば、燃焼室の設計が容易となって好適である。

【 0 0 2 8 】

また、こうした凹部は次のような形状としても良い。すなわち、該凹部の側壁と前記ピストン頂面とが交わる淵部の少なくとも一部を鋭角に形成することとしてもよい。

【 0 0 2 9 】

このように凹部の形状を、淵部の少なくとも一部が鋭角となるようにしておけば、該凹部内に形成された前記第 2 の混合気が該淵部を超えて広がり難くするこ

とができる。このため、該第 2 の混合気に確実に点火することが可能となって好ましい。

【 0 0 3 0 】

更に、前記燃焼室内で前記ピストン頂面と対向する側の面にも、該ピストン頂面の凹部と対向する位置に第 2 の凹部を設けることとしても良い。

【 0 0 3 1 】

こうして第 2 の凹部を設けてやれば、ピストンが上昇したときに、ピストン頂面に設けられた凹部と該第 2 の凹部との間に、前記第 2 の混合気を形成することができる。このため該第 2 の混合気に確実に点火することが可能となって好ましい。

【 0 0 3 2 】

また、燃焼室内に直接噴射された燃料を前記凹部に導くための案内溝を、前記ピストン頂面に設けることとしても良い。

【 0 0 3 3 】

こうすれば、噴射された燃料を案内溝で凹部に導くことにより、該凹部内に第 2 の混合気を効率よく形成することができるので、該第 2 の混合気に確実に点火することが可能となって好適である。

【 0 0 3 4 】

また、こうした内燃機関においては、前記点火手段が前記第 2 の混合気に点火する時期を基準として定められた所定の時期に、前記第 2 の燃料を燃焼室内に噴射することによって該第 2 の混合気を形成することとしてもよい。

【 0 0 3 5 】

こうすれば、第 2 の燃料が噴射されてから点火手段で点火されるまでの間隔を常に適切に保つことが可能となり、前記第 2 の混合気に確実に点火することができるので好ましい。

【 0 0 3 6 】

また、内燃機関のノックの発生有無を検出して、ノックの発生が検出された場合には、前記第 2 の混合気に点火する時期を遅らせるとともに、該点火時期の遅延に合わせて前記第 2 の燃料の噴射時期も遅延させることとしても良い。

【 0 0 3 7 】

前記第 2 の混合気に点火する時期が早すぎてノックが発生している場合は、点火時期を遅らせることでノックの発生を効果的に回避することができる。点火時期の遅延に合わせて、前記第 2 の燃料の噴射時期も遅延させれば、点火時期を遅らせた場合でも該第 2 の混合気に確実に点火することができるので好ましい。

【 0 0 3 8 】

前記第 2 の燃料としてアルコール類を噴射する内燃機関においては、燃焼室内でピストンを上昇させることによって混合気を圧縮するとともに、該混合気の圧縮後にピストン位置が最も高くなる圧縮上死点を基準として、クランク軸の回転角度で 9 0 度前から 3 0 度前までの所定の期間に、該第 2 の燃料を燃焼室内に直接噴射することによって第 2 の混合気を形成することとしても良い。

【 0 0 3 9 】

前記第 2 の燃料としてアルコール類を噴射する場合は、圧縮上死点を基準として、クランク軸の回転角度で 9 0 度前から 3 0 度前までの所定の期間に噴射することで、前記第 2 の混合気を好適に生成することが可能である。

【 0 0 4 0 】

また、前記燃焼室内に供給される空気が通過する吸気通路と、該吸気通路を開閉する吸気弁とを備えた内燃機関においては、該吸気弁の上流側の該吸気通路内に前記第 1 の燃料を噴射することによって、前記第 1 の混合気を形成するとともに、該燃焼室内に前記第 2 の燃料を噴射することによって、前記第 2 の混合気を形成することとしてもよい。

【 0 0 4 1 】

燃料を吸気弁の上流側で噴射する場合は、燃焼室内に噴射するよりも簡便に噴射することができる。このことから、第 1 の燃料を吸気弁の上流側で噴射してやれば、前記第 1 の混合気を前記燃焼室内に簡便に形成することができるので好ましい。

【 0 0 4 2 】

燃焼室から排出される排気ガスが通過する排気通路に、該排気ガス中に含まれる有害成分を浄化する浄化触媒を搭載した内燃機関においては、該浄化触媒の上

流側から該排気通路内に前記第 2 の燃料を噴射するとともに、該噴射した燃料に点火することによって該浄化触媒を暖機することとしてもよい。

【 0 0 4 3 】

浄化触媒は温度が低いと、排気ガス中に含まれる大気汚染物質などの有害成分を効果的に浄化することが困難となる。そこで、該浄化触媒に上流側から第 2 の燃料を噴射するとともに該燃料に点火して浄化触媒を暖機してやれば、排気ガス中の有害成分を効率よく浄化することが可能となるので好ましい。

【 0 0 4 4 】

また、上述した内燃機関は、次のように 2 サイクル運転と 4 サイクル運転とを切り換えて運転可能な内燃機関としてもよい。すなわち内燃機関には、クランク軸を回転させて前記燃焼室内でピストンを上昇させることにより該燃焼室内の混合気を圧縮する機構と、該クランク軸の回転に同期して吸気通路および排気通路をそれぞれ開閉する吸気弁および排気弁と、該吸気弁および排気弁の開閉時期を切り換えることにより、前記内燃機関の運転状態を 4 サイクル運転と 2 サイクル運転とに切り換える運転状態切換手段とが備えられている。そして、クランク軸の回転速度を検出して、検出した回転速度が所定の閾値より小さい場合には、前記内燃機関が 4 サイクル運転され、該検出した回転速度が該閾値より大きい場合には 2 サイクル運転されるよう、前記運転状態切換手段を制御することとしても良い。

【 0 0 4 5 】

内燃機関を 2 サイクル運転すると、混合気を比較的容易に自着火させることができ、更に大きなトルクを比較的容易に出力することができるが、その一方で内燃機関を高い回転速度で運転することが困難な傾向がある。そこで、こうして 2 サイクル運転と 4 サイクル運転とを切り換えてやれば、混合気を簡便に自着火させながら、高い回転速度で運転することも可能となるので好ましい。

【 0 0 4 6 】

こうした内燃機関では、前記吸気弁および前記排気弁を、電力を用いて駆動することとして、電力の供給あるいは切断の少なくともいずれかを行うことによつて、これら吸気弁および排気弁を駆動することとしても良い。

【 0 0 4 7 】

こうして吸気弁および排気弁を駆動してやれば、クランク軸の回転に同期して適切な時期に、電力を供給あるいは切断することで、内燃機関の運転状態を2サイクル運転と4サイクル運転とに切り換えることが可能となるので好ましい。

【 0 0 4 8 】

【発明の実施の形態】

本発明の作用・効果をより明確に説明するために、次の順序に従って、本発明の実施例について説明する。

A. 第1実施例：

A-1. 装置構成：

A-2. エンジン制御の概要：

A-3. 第1実施例における混合気の燃焼制御：

A-4. 変形例：

B. 第2実施例：

B-1. 装置構成：

B-2. 第2実施例における混合気の燃焼制御：

【 0 0 4 9 】

A. 第1実施例：

A-1. 装置構成：

図1は、予混合圧縮自着火燃焼方式を適用した第1実施例のエンジン10の構造を概念的に示した説明図である。第1実施例のエンジン10は、吸気・圧縮・膨張・排気の4つの行程を繰り返しながら燃焼室内で混合気を燃焼させることによって動力を出力する4サイクル式のエンジンである。図1では、エンジン10の構造を示すために、燃焼室のほぼ中央で断面を取って表示している。図示されているようにエンジン10の本体は、シリンダブロック140の上部にシリンダヘッド130が組み付けられて構成されている。シリンダブロック140の内部には、円筒形のシリンダ142が設けられており、このシリンダ142の内部をピストン144が上下に摺動する。シリンダ142とピストン144とシリンダヘッド130の下面とで囲まれた空間が燃焼室となる。

【 0 0 5 0 】

ピストン 1 4 4 は、コネクティングロッド 1 4 6 を介してクランクシャフト 1 4 8 に接続されており、ピストン 1 4 4 はクランクシャフト 1 4 8 の回転にともなってシリンダ 1 4 2 内を上下に摺動する。

【 0 0 5 1 】

シリンダヘッド 1 3 0 には、燃焼室に吸入空気を取り入れるための吸気通路 1 2 と、燃焼室内の混合気に点火するための点火プラグ 1 3 6 と、燃焼室内で発生した燃焼ガスを排出するための排気通路 1 6 などが接続されている。また、シリンダヘッド 1 3 0 には、吸気バルブ 1 3 2 と排気バルブ 1 3 4 とが設けられている。吸気バルブ 1 3 2 および排気バルブ 1 3 4 は、それぞれにカム機構によって駆動され、ピストン 1 4 4 の動きに同期して吸気通路 1 2 および排気通路 1 6 を開閉する。

【 0 0 5 2 】

吸気通路 1 2 の上流側にはエアクリーナ 2 0 が設けられており、エアクリーナ 2 0 には空気中の異物を除去するためのフィルタが内蔵されている。エンジンに吸入される空気は、エアクリーナ 2 0 を通過する際にフィルタで異物を除去された後、燃焼室内に吸入される。また、吸気通路 1 2 には、スロットル弁 2 2 が設けられており、電動アクチュエータ 2 4 を駆動してスロットル弁 2 2 を適切な開度に制御することで、燃焼室内に吸入される空気量を制御することができる。

【 0 0 5 3 】

第 1 実施例のエンジン 1 0 は、吸気通路 1 2 に設けられた燃料噴射弁 1 5 および、シリンダヘッド 1 3 0 に設けられた燃料噴射弁 1 4 の 2 つの燃料噴射弁を備えており、燃料噴射弁 1 5 からは吸気通路 1 2 内にガソリンを噴射する。また、燃料噴射弁 1 4 からは、燃焼室内に水素ガスを噴射する。水素ガスは、水素貯蔵タンク 1 7 0 に加圧されて蓄えられており、レギュレータ 1 7 2 によって所定圧力まで減圧された後、燃料噴射弁 1 4 に供給されている。一方、ガソリンは図示しないガソリンタンクに蓄えられており、図示しない燃料ポンプで汲み上げられて燃料噴射弁 1 5 に供給されている。尚、ここでは、燃料噴射弁 1 4 からは水素ガスが噴射されるものとして説明するが、ガソリンよりもオクタン価の高い燃料

であれば、水素ガスに限らず、メタンやエタン、プロパン、天然ガスなどの他の燃料ガスを噴射したり、液体燃料を噴射することも可能である。これら液体燃料としては、メタノールやエタノールなどのアルコール系の燃料を好適に使用することができる。

【 0 0 5 4 】

排気通路 1 6 の下流には、排気ガスに含まれる大気汚染物質を浄化するための触媒 2 6 が設けられている。後述するように、予混合圧縮自着火燃焼方式を適用すれば、排気ガス中の大気汚染物質の濃度を大幅に減少することができるが、排気通路に触媒 2 6 を設けることにより、排気ガス中に僅かに含まれる汚染物質も完全に浄化することが可能となっている。もっとも、エンジン 1 0 の始動直後など、触媒 2 6 の温度が十分に高くなっていない場合には、排気ガス中の大気汚染物質を浄化することができない。そこで、触媒 2 6 の上流側の排気通路 1 6 には、燃料噴射弁 1 7 と点火プラグ 1 3 7 とが設けられており、燃料噴射弁 1 7 から噴射した水素ガスに点火プラグ 1 3 7 で点火することで、触媒 2 6 の温度を速やかに上昇させて、大気汚染物質を浄化することが可能となっている。

【 0 0 5 5 】

エンジン 1 0 の動作は、エンジン制御用ユニット（以下、ECU）3 0 によって制御されている。ECU 3 0 は、CPU や、RAM、ROM、A/D 変換素子、D/A 変換素子などをバスで相互に接続して構成された周知のマイクロコンピュータである。ECU 3 0 は、エンジン回転速度 N_e やアクセル開度 θ_{ac} を検出し、これらに基づいてスロットル弁 2 2 を適切な開度に制御する。エンジン回転速度 N_e は、クランクシャフト 1 4 8 の先端に設けたクランク角センサ 3 2 によって検出することができる。アクセル開度 θ_{ac} は、アクセルペダルに内蔵されたアクセル開度センサ 3 4 によって検出することができる。ECU 3 0 は、燃料噴射弁 1 4、1 5、1 7 や、点火プラグ 1 3 6、1 3 7 を適切に駆動する制御も司っている。また、ECU 3 0 は、燃料噴射弁 1 4 に供給される水素ガスの圧力を圧力センサ 1 7 4 によって検出して、水素ガスが常に適切な圧力で供給されるように制御している。

【 0 0 5 6 】

また ECU 3 0 は、シリンダブロック 1 4 0 に設けられたノックセンサ 2 5 の出力に基づいて、ノックの発生を検出することができる。ノックセンサ 2 5 は、燃焼室内でノックが発生したときにシリンダ 1 4 2 内に発生する気柱振動を、共振現象を利用して検出することによりノックの発生を検出する。あるいは、ノックセンサ 2 5 に代えて、燃焼室内の圧力を検出する圧力センサ 2 3 を、シリンダブロック 1 4 0 あるいはシリンダヘッド 1 3 0 に設けることとしても良い。ノックセンサ 2 5 に代えて圧力センサ 2 3 が設けられている場合は、ECU 3 0 は、圧力センサ 2 3 で検出した燃焼室内の圧力を読み込んで、燃焼室内圧力の上昇速度を算出することによって、ノックの発生を検出することができる。

【 0 0 5 7 】

また、ECU 3 0 は、触媒 2 6 の上流側の排気通路 1 6 に設けた NO_x センサ 2 1 の出力を読み込むことで、排気ガス中に含まれる窒素酸化物の濃度を検出することが可能となっている。

【 0 0 5 8 】

尚、図 1 では、燃料噴射弁 1 4 は吸気側に設けられているが、排気側に設けることとしても良い。吸気側に設けてやれば、燃料噴射弁 1 4 の上方を排気ガスが流れることがないので、燃料噴射弁 1 4 が高温に晒され難いという利点がある。一方、排気ポートは吸気ポートに比べてポートの断面積が小さく、更にポート形状の自由度も高いので、排気側に設けてやれば、燃料噴射弁 1 4 を適切な位置に搭載し易いという利点がある。

【 0 0 5 9 】

図 2 は、エンジン 1 0 の燃焼室の構造を示す説明図である。図 2 (a) は燃焼室の断面構造を示した説明図である。図示するように、ピストン 1 4 4 の頂面には、燃料噴射弁 1 4 から噴射された水素ガスを点火プラグ 1 3 6 に導くための案内溝 1 4 3 および凹部 1 4 5 が形成されている。図 2 (b) は燃焼室の一部を構成するピストン頂面を、シリンダヘッド 1 3 0 側から見たピストン 1 4 4 の上面図である。ピストン頂面に設けられた案内溝 1 4 3 および凹部 1 4 5 と、シリンダヘッド 1 3 0 に設けられた燃料噴射弁 1 4 および点火プラグ 1 3 6 との位置関係を明確にするために、図 2 (b) では、これら燃料噴射弁 1 4、点火プラグ 1

36、吸気バルブ132、排気バルブ134を細い破線で表示している。図示するように、凹部145は、ピストン頂面の点火プラグ136と対向する位置に設けられており、案内溝143は、燃料噴射弁14にほぼ対向する位置から凹部145になめらかに接続するように形成されている。図2(c)は、ピストン頂面に形成された凹部145の断面形状を拡大して示した説明図である。図示するように、凹部145の側壁とピストン頂面とが交わる淵部は、一部が鋭角な形状に形成されており、このため凹部145がピストン頂面に開口する淵部には、ほぼ半周に亘って反り返し部147が設けられている。換言すれば、凹部145は、ピストン頂面に開口する付近で断面が小さくなるような形状となっている。

【0060】

A-2. エンジン制御の概要：

以上のような構成を有するエンジン10は、ECU30の制御の下で、燃焼室内で混合気を圧縮自着火させながら動力を出力する。図3は、ECU30が行うエンジン運転制御ルーチンの流れを示したフローチャートである。以下、フローチャートに従って説明する。

【0061】

エンジン制御ルーチンを開始すると、先ず初めにECU30は、エンジン10が発生させるべき目標出力トルクを算出する処理を行う（ステップS100）。目標出力トルクは、アクセル開度センサ34で検出したアクセル開度 θ_{ac} に基づいて算出する。すなわち、エンジンの操作者は、エンジンの出力トルクを増やしたいと思った場合はアクセルペダルを踏み増す操作を行う。また、エンジンからトルクが発生させる必要がないと考えた場合は、アクセルペダルを全閉状態とする。従って、アクセルペダルの操作量はエンジン操作者が要求しているトルクを代表していると考えることができる。ステップS100では、こうした原理に基づいて、アクセル開度 θ_{ac} からエンジンが出力すべき目標出力トルクを算出する。

【0062】

次いで、ECU30はエンジン回転速度 N_e を検出する（ステップS102）。エンジン回転速度 N_e は、クランク角センサ32の出力に基づいて算出するこ

とができる。

【 0 0 6 3 】

目標出力トルクおよびエンジン回転速度を検出したら、制御方式を設定する処理を行う（ステップ S 1 0 4）。これは、次のような処理である。前述したように、予混合圧縮自着火燃焼方式を採用するエンジンは、大気汚染物質の排出量が少なく、燃料消費量も少ないという優れた特性を備えているが、エンジンの負荷が高くなるとノックを起こし易くなる。詳細には後述するが、こうした問題を解決するために第 1 実施例のエンジン 1 0 は、エンジンの負荷が高い条件では、圧縮上死点付近のタイミングで燃焼室内に水素ガスを噴射し、水素ガスに点火して燃焼室内の混合気を自着火させることにより、ノックの発生を回避している。そこで、ステップ S 1 0 4 では、水素ガスを噴射してノックの発生を回避するための制御を行うか、あるいは通常の予混合圧縮自着火燃焼させるための制御を行うかを、エンジンの負荷に応じて設定する処理を行う。具体的には、ECU 3 0 に内蔵された ROM には、エンジン回転速度と目標出力トルクとの組合せに応じて、低負荷条件あるいは高負荷条件のいずれの制御を行うかがマップの形式で予め記憶されており、低負荷条件であれば通常の予混合圧縮自着火燃焼の制御を、高負荷条件であれば水素ガスを噴射してノックの発生を回避するための制御を行う。図 4 は、ECU 3 0 の ROM に記憶されているマップを概念的に示したものである。

【 0 0 6 4 】

制御方式を設定したら、続いて燃焼室内に噴射する燃料量および吸入空気量を算出する処理を行う（ステップ S 1 0 6）。これらの燃料噴射量および吸入空気量の値は、低負荷条件あるいは高負荷条件のそれぞれに用意されているマップを参照することによって算出する。

【 0 0 6 5 】

図 5 は、低負荷条件用のマップを概念的に示した説明図である。低負荷条件用のマップは、吸入空気量のマップと燃料噴射量のマップの 2 つのマップが用意されており、それぞれのマップには、エンジン回転速度と目標出力トルクとに応じて、それぞれ適切な吸入空気量および燃料噴射量が設定されている。

【0 0 6 6】

ここで、図5に示すような吸入空気量および燃料噴射量を設定するための基本的な考え方について簡単に説明しておく。図6は、予混合圧縮自着火燃焼方式において、混合気を形成するための基本的な考え方を概念的に示したブロック図である。予混合圧縮自着火燃焼においては、先ず初めに内燃機関が出力すべきトルク（要求トルク）を設定する。要求トルクが決まると、この値に応じて、燃料量を決めることができる。すなわち、内燃機関は燃料を燃焼させて燃焼室内の圧力上昇させ、この圧力をトルクに変換して出力している。従って、トルクの発生量と燃料量とはほぼ一対一に対応しており、要求トルクが決まれば、これに応じて必要な燃料量を決めることができる。燃料量を決定したら、次に空気量を決定する。混合気を圧縮して自着火させるためには、空気と燃料とが所定の割合で混合していることが必要である。従って、燃料量を決めると、この燃料と混合すべき空気量を自ずから決定することができる。こうして決定した分量の燃料と空気とによる混合気を燃焼室内で圧縮自着火させれば、要求トルクを出力することができる。

【0 0 6 7】

図5に示したマップには、図6に示した考え方を基礎として、実験的な手法により求められた適切な値が設定されている。尚、低負荷条件用のマップは、目標出力トルクが小さな条件で参照されるマップであり、ある目標出力トルク以上の領域では、燃料噴射量のマップ値も吸入空気量のマップ値もクリップされた値が設定されている。理屈の上からは、低負荷条件用のマップは目標出力トルクが小さな領域のみマップ値が設定されていれば足りるが、何らかの原因で低負荷条件用の制御中に、目標出力トルクの高い領域を参照した場合を考慮して、一応マップ値が設定されている。但し、ノックが発生しないように、小さな目標出力トルクのマップ値にクリップされている。

【0 0 6 8】

図7は、高負荷条件用のマップを概念的に示した説明図である。高負荷条件用のマップは、吸入空気量のマップと燃料噴射量のマップに水素噴射量のマップを加えた合計3つのマップが用意されている。それぞれのマップには、エンジン回

転速度と目標出力トルクとに応じて、吸入空気量、燃料噴射量、水素噴射量がそれぞれ設定されている。これらのマップの設定値も、図 6 に示した考え方を基礎として、実験的な手法により求められた適切な値が設定されている。

【 0 0 6 9 】

図 3 のステップ S 1 0 6 では、このように対応するマップを参照しながら、低負荷条件用の制御時には、吸入空気量および燃料噴射量を算出し、高負荷条件用の制御時には、吸入空気量および燃料噴射量、水素噴射量をそれぞれ算出する処理を行う。

【 0 0 7 0 】

こうして吸入空気量および燃料噴射量（高負荷条件時には、更に水素噴射量）を算出したら、算出した分量の空気が各燃焼室に吸入されるように、スロットル弁 2 2 の開度を制御する処理を行う（ステップ S 1 0 8）。スロットル弁の開度の制御は周知の種々の方法で行うことができる。例えば、吸気通路 1 2 に設けたエアフローセンサで吸入空気量を計測し、適切な空気量となるようにスロットル弁 2 2 の開度を制御すればよい。あるいは、エアフローセンサを用いるのではなく、スロットル弁 2 2 の下流側の吸気通路内圧力を計測して、吸入空気量を算出してもよい。簡便には、エンジン回転数に応じて適切な空気量が得られるようなスロットル開度を予めマップに設定しておき、このマップを参照してスロットル開度を設定することとしてもよい。

【 0 0 7 1 】

E C U 3 0 は、スロットル制御に続いて燃料噴射制御を行う（ステップ S 1 1 0）。燃料噴射制御では、ステップ S 1 0 6 で算出した燃料噴射量に基づいて燃料噴射弁 1 4 を駆動することにより、ピストン 1 4 4 の動きに合わせて、適切なタイミングで適切な量の燃料を燃焼室内に供給する。燃料噴射制御の詳細については、別図を用いて後述する。

【 0 0 7 2 】

燃料噴射制御を行ったら E C U 3 0 は、実行中の制御方式が高負荷条件用の制御か否かを判断する（ステップ S 1 1 2）。高負荷条件用の制御方式である場合は（ステップ S 1 1 2 : y e s）、適切なタイミングで燃料噴射弁 1 4 から燃焼

室内に水素ガスを噴射し（ステップS114）、その後、適切なタイミングで点火プラグから火花を飛ばして水素ガスに点火する制御を行う（ステップS116）。これら制御の詳細については別図を参照しながら後述する。また、高負荷条件用の制御方式でない場合は（ステップS112：no）、燃焼室内の混合気をピストンによる圧縮のみで自着火させることとして、水素ガスを噴射したり（ステップS114）点火プラグから火花を飛ばす（ステップS116）ための制御はスキップする。

【0073】

こうして混合気を燃焼させると、燃焼室内の圧力が急激に上昇してピストン144を下方向に押し下げようとする。この力は、コネクティングロッド146を介してクランクシャフト148に伝えられ、クランクシャフト148でトルクに変換されて動力として出力される。

【0074】

次いで、ECU30は、エンジンを停止する旨が設定されたか否かを確認し（ステップS118）、停止する旨が設定されていなければステップS100に戻って続く一連の処理を繰り返す。エンジンを停止する旨が設定された場合は、そのままエンジン運転制御ルーチンを終了する。こうして、エンジン10は、ECU30の制御の下で、図3の制御ルーチンに従って運転され、操作者の設定に応じたトルクを出力する。

【0075】

A-3. 第1実施例における混合気の燃焼制御：

上述したエンジン運転制御ルーチンにおいて、燃料噴射制御、水素ガス噴射制御、点火制御を行うことにより、燃焼室内で混合気を燃焼させる制御内容について説明する。第1実施例のエンジン10は、こうした燃焼制御を実現することによって、エンジンの負荷が高い運転条件においてもノックを発生させることなく、混合気を予混合圧縮自着火燃焼させることが可能となっている。

【0076】

先ず、低負荷条件時における制御について、図8を参照しながら説明する。図8は、低負荷条件において混合気を圧縮自着火させて燃焼させる様子を概念的に

示した説明図である。図 8 (a) は吸気行程においてピストン 1 4 4 の降下に伴って、燃焼室内に混合気が吸入される様子を概念的に示している。図 1 を用いて前述したようにエンジン 1 0 では、吸気通路 1 2 に燃料噴射弁 1 5 が設けられている。図 3 に示したエンジン制御ルーチン中のステップ S 1 1 0 では、吸気通路 1 2 に設けられた燃料噴射弁 1 5 から、所定のタイミングで燃料を噴射する制御を行う。噴射する燃料量は、ステップ S 1 1 0 に先立ってステップ S 1 0 6 中で予め算出されている。また、燃料を噴射するタイミングは、吸気行程が終わって吸気バルブ 1 3 2 が閉じられてからしばらく経った適切なタイミングに設定されている。こうしたタイミングでは吸気バルブ 1 3 2 は閉じられているので、吸気通路 1 2 内に噴射された燃料は通路内で気化して空気と混合し、次の吸気行程が開始されると、混合気の状態燃焼室内に吸入される。図 8 (a) は、こうして、吸気通路 1 2 内から混合気が流入する様子を概念的に示している。

【 0 0 7 7 】

ピストン 1 4 4 が一番下まで下がりきったら、吸気バルブ 1 3 2 を閉じてピストン 1 4 4 を上昇させ、混合気を圧縮する。ピストンが下がりきった位置は、通常、下死点と呼ばれる。図 8 (b) は、こうしてピストン 1 4 4 を上昇させることによって混合気を圧縮している様子を概念的に示している。混合気は圧縮されて圧力が上昇するに従って温度も次第に高くなり、ピストンが一番上に上がりきった付近でついには発火点に達して、混合気全体がほぼ同時に自着火する。ピストンが上がりきった位置は、通常、上死点と呼ばれる。図 8 (c) は、こうしてピストンの上死点付近で、燃焼室内の混合気がほぼ同時に自着火している様子を概念的に示している。詳細には後述するが、予混合圧縮自着火燃焼方式では、このように燃焼室内で混合気を自着火させて、ほぼ同時に燃焼を開始させることにより、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時に且つ大幅に改善することが可能となっている。

【 0 0 7 8 】

予混合圧縮自着火燃焼方式では、このように燃焼室内の混合気をほぼ同時に自着火させて燃焼させるために、エンジンの負荷が高くなると（大きなトルクを出力しようとする）強いノックが発生してしまう。すなわち、大きなトルクを出

力するために、燃焼室内に吸入される燃料量と空気量とを増加させると、それに伴って吸入完了時の燃焼室内の圧力は高くなる。この状態で吸気バルブ 1 3 2 を閉じてピストンを上昇させると、混合気は高い圧力から圧縮されることになるので、混合気の圧力および温度は、エンジンの負荷が低い場合よりも速やかに上昇し、圧縮行程中に自着火して強いノックが発生するのである。そこで、高負荷条件時においてもノックが発生させることなく予混合圧縮自着火燃焼させるために、エンジン 1 0 は、高負荷条件では次のような制御を行う。

【 0 0 7 9 】

図 9 は、高負荷条件において混合気を圧縮自着火させて燃焼させる様子を概念的に示した説明図である。図 9 (a) は吸気行程においてピストン 1 4 4 の降下に伴って、燃焼室内に混合気が吸入される様子を概念的に示している。吸気行程中の動作は、前述した低負荷条件時の動作とほぼ同様である。但し、高負荷条件時ではノックの発生を回避するために、混合気の空気過剰率が大きな値に設定されている。混合気の空気過剰率を大きな値に設定しておけば、混合気が自着火し難くなるので、ピストンの上昇中に自着火することを回避することができる。

【 0 0 8 0 】

ここで空気過剰率とは、混合気中に含まれる燃料と空気との割合を示す指標である。混合気中で燃料と空気との割合を示す指標として良く使用される空燃比は、燃料量に対する空気量の重量比によって燃料と空気との比率を表しているのに対して、空気過剰率は、燃料と空気とが過不足無く燃焼するような割合を基準として、燃料と空気量との比率を表現する。空気過剰率が「 1 」とは、燃料と空気とが、互いに過不足無く燃焼するような比率で混合気に含まれていることを意味しており、空気過剰率が「 2 」とは、燃料を過不足無く燃やすために必要な割合の 2 倍の空気が混合気中に含まれていることを意味している。

【 0 0 8 1 】

こうしてピストン 1 4 4 を降下させながら燃焼室内に混合気を吸入し、ピストン 1 4 4 が一番下まで下がりきったら、吸気バルブ 1 3 2 を閉じてピストン 1 4 4 を上昇させて混合気を圧縮する。前述したように、混合気の空気過剰率は低負荷条件時よりも大きな値に設定されているので、高負荷条件であっても圧縮中に

混合気が自着火することはない。

【 0 0 8 2 】

次いで、圧縮行程のほぼ上死点付近の適切なタイミングで、燃料噴射弁 1 4 から燃焼室内に水素ガスを噴射する。図 9 (b) は、上死点に達する直前に、燃料噴射弁 1 4 から水素ガスを噴射している様子を概念的に示した説明図である。図 2 を用いて前述したように、ピストン 1 4 4 の頂面には案内溝 1 4 3 と凹部 1 4 5 とが設けられており、燃料噴射弁 1 4 から噴射された水素ガスは、案内溝 1 4 3 に導かれて凹部 1 4 5 に流入する。また、案内溝 1 4 3 の側から見て凹部 1 4 5 の向こう側の淵部には、ほぼ半周に亘って反り返し部 1 4 7 が設けられており、凹部 1 4 5 に流入した水素ガスは、反り返し部 1 4 7 に遮られて淵部を乗り越え難くなっている。このため、噴射された水素ガスは効果的に凹部 1 4 5 近傍に集められて、水素とガソリンと空気との混合気を形成する。

【 0 0 8 3 】

燃焼室内に水素ガスを噴射したら、点火プラグ 1 3 6 から火花を飛ばすことによって、水素ガスの混合気に点火する。図 9 (c) は、圧縮上死点付近で水素ガスの混合気に点火している様子を概念的に示した説明図である。こうして、点火プラグ 1 3 6 で点火することにより、水素ガスの混合気は速やかに燃焼して燃焼室内の圧力を上昇させる。この結果、燃焼室内に形成されているガソリンと空気との混合気が圧縮され自着火して、ほぼ一斉に燃焼を開始することになる。

【 0 0 8 4 】

図 1 0 は、吸気バルブ 1 3 2 および排気バルブ 1 3 4 の開閉時期と、高負荷条件時に燃料噴射弁 1 5 から燃料を噴射するタイミングや、燃料噴射弁 1 4 から水素ガスを噴射するタイミング、点火プラグから火花を飛ばして点火するタイミングとの関係をまとめて示した説明図である。図中に T D C と表示されているのはピストンが上死点となるタイミングを示し、B D C と表示されているのはピストンが下死点となるタイミングを示している。吸気バルブ 1 3 2 は、ピストンが上死点に達する少し前のタイミングで開き、下死点の少し後のタイミングで閉じてやる。このように、上死点に達するより少し早いタイミングで吸気バルブ 1 3 2 を開き、そして下死点に達した少し後のタイミングで閉じるようにしておけば、

エンジン回転速度が高くなったときでも十分に空気を吸入することが可能である。また、排気バルブ 1 3 4 は、ピストンが下死点に達する少し前のタイミングで開き、上死点の少し後のタイミングで閉じてやる。このように、下死点に達するより少し早いタイミングで排気バルブ 1 3 4 を開き、そして上死点に達した少し後のタイミングで閉じるようにしておけば、エンジン負荷が高く且つエンジン回転速度が高い場合のように、多量の排気ガスを短い時間で排出しなければならない場合でも、燃焼室内の排気ガスを効果的に排出することが可能となる。

【 0 0 8 5 】

図 1 0 では、ガソリンを噴射するタイミングは、破線で囲われた領域にハッチングを付すことによって表示されている。図 1 0 に示すように、燃料噴射弁 1 5 が吸気通路 1 2 内にガソリンを噴射するタイミングは、吸気バルブ 1 3 2 が閉じた後の圧縮上死点前 90° 以降の適切なタイミングに設定されている。前述したように、こうしたタイミングで噴射されたガソリンは、吸気通路 1 2 内で気化して空気と混合し、次の吸気行程で燃焼室内に吸入される（図 9 (a) 参照）。

【 0 0 8 6 】

ガソリンの混合気を吸入したら、今度はピストン 1 4 4 を上昇させて混合気を圧縮し、ピストンがほぼ上死点に達する少し手前のタイミング（より詳しくは、圧縮上死点前 30 度から圧縮上死点までの範囲で設定された適切なタイミング）で、燃料噴射弁 1 4 から水素ガスを燃焼室内に噴射する。図 1 0 では、水素ガスを噴射するタイミングは、実線で囲われた領域にハッチングを付すことによって表示されている。このように、ピストンがほぼ上死点に達する手前のタイミングで燃料噴射弁 1 4 から水素ガスを噴射しているために、噴射された水素ガスは、燃焼室内のガソリン混合気と混合しながら、ピストン頂面に形成された案内溝 1 4 3 に導かれて凹部 1 4 5 付近に集められる（図 9 (b) 参照）。こうして凹部 1 4 5 の近傍に水素ガスの混合気を形成した後、圧縮上死点の直後のタイミングで点火プラグから火花を飛ばして、水素ガスの混合気に点火してやる。図 1 0 に示した白抜きの星印は、点火プラグから火花を飛ばすタイミングを示している。点火された水素ガスの混合気は速やかに燃焼して、周囲に混合気を圧縮し、燃焼室内に形成された混合気全体をほぼ同時に自着火させる。この様子を、図 1 1 を

用いて説明する。

【 0 0 8 7 】

図 1 1 は、燃焼室内にガソリンの混合気と、水素ガスの混合気とが形成されている様子を概念的に示している。図中で、ガソリンの混合気が形成されている領域は粗いハッチングを付して示されており、水素ガスの混合気が形成されている領域は細かいハッチングを付して示されている。前述したように、水素ガスはガソリンの混合気が形成されている状態に重ねて噴射されるので、水素ガスの混合気の空気過剰率はガソリンの混合気の空気過剰率に比べて小さく（すなわち空気に対する燃料濃度が高く）なっている。このため、水素ガスの混合気に点火してやると、細かいハッチングを付した水素ガスの混合気は速やかに燃焼して、周囲に形成されているガソリンの混合気を圧縮する。図 1 1 で水素ガスの混合気を示す細かいハッチングを付した領域から周囲に向かって表示された黒い矢印は、水素ガスの混合気が燃焼して周辺の混合気を圧縮している様子を概念的に示したものである。

【 0 0 8 8 】

前述したように、エンジンの負荷が高い条件では、ガソリンの混合気の空気過剰率は大きな値に設定されており、ピストン 1 4 4 により圧縮されただけでは自着火しないが、図 1 1 に示すように、水素ガスの混合気の燃焼に伴って更に圧縮されることにより、ついには自着火する。図 1 2 は、この様にして、ガソリンの混合気が自着火する様子を概念的に示したものである。水素ガスの混合気が燃焼すると、燃焼室内全体の圧力を上昇させるから、ガソリンの混合気は一様に圧縮されてほぼ同時に自着火に至る。もっとも、厳密には混合気の空気過剰率が場所によって異なっていたり、また、燃焼室内の壁面付近では温度が若干低いと言った理由により、必ずしも全ての混合気が完全に同じタイミングで自着火するわけではない。図 1 2 では、水素ガスの混合気が燃焼した領域を細かいハッチングを付して示している。また、水素ガスの燃焼によって周囲の混合気がほぼ同時に自着火することを、細かいハッチングを付した領域の周囲にあるいくつかの領域に、粗いハッチングを付すことによって概念的に表示している。

【 0 0 8 9 】

以上に説明したように、エンジンの負荷が高い条件では、吸気行程中に吸い込む混合気の空気過剰率を、ピストンで圧縮されただけでは自着火しない程度に大きな値に設定しておく。こうすることにより、高負荷条件においても圧縮中に混合気が自着火してノックが発生することを確実に回避することができる。そして、圧縮上死点付近で水素ガスを噴射し燃焼させることで、ピストンによる圧縮だけでは自着火しないガソリンの混合気を更に圧縮して自着火させる。こうすれば、水素ガスの混合気に点火するタイミングを制御することによって、ガソリンの混合気を適切な時期に自着火させることが可能となる。

【 0 0 9 0 】

このように、本実施例のエンジン 1 0 では、低負荷条件だけでなく、高負荷条件においても混合気を圧縮自着火させることが可能である。予混合圧縮自着火燃焼方式を適用すれば、内燃機関から排出される大気汚染物質や燃料消費量を大きく低減することが可能であり、本実施例のエンジン 1 0 はエンジンの負荷にかかわらず混合気を圧縮自着火させることができるので、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを、より一層効果的に低減することが可能となる。予混合圧縮自着火燃焼方式を採用することで、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時にしかも大幅に減少させることが可能な理由については、後ほど簡単に説明する。

【 0 0 9 1 】

本実施例のエンジン 1 0 は、高負荷条件時にガソリンの混合気を自着火させるため、水素ガスの混合気に点火している。このように、点火する混合気を、特に水素ガスの混合気とすることにより、以下のような種々のメリットを得ることができる。

【 0 0 9 2 】

先ず、水素ガスはガソリンに比べてオクタン価が高い（自着火し難い）ので、圧縮上死点付近の高温になった混合気中に噴射しても、簡単には自着火することがない。従って、水素ガスの混合気が燃焼を開始するタイミングは、常に点火プラグ 1 3 6 で点火したタイミングとすることができ、その結果、ガソリンの混合気が圧縮自着火するタイミングを確実に制御することが可能である。

【 0 0 9 3 】

また、水素ガスの混合気は、ガソリンの混合気に比べて着火範囲が広い特性がある。一般に混合気は、空気に対する燃料の割合が少な過ぎても（すなわち空気過剰率が大き過ぎても）、逆に燃料の割合が多過ぎても（すなわち空気過剰率が小さ過ぎても）燃焼しない。このことから、点火プラグで点火するためには、混合気の空気過剰率が着火可能な範囲にあることが必要となる。例えば、燃料を噴射した直後は空気過剰率が小さ過ぎて点火することができないし、また、燃焼室内の空気の流動に流されるなどして、噴射した燃料を点火プラグの近傍に集めることができなかった場合は空気過剰率が大きくなり過ぎて点火することができない。この点、水素ガスは、ガソリンに比べて着火可能な空気過剰率の範囲が広いので、噴射後あまり時間が経過していない混合気であっても、また、噴射した混合気を点火プラグの近傍に効果的に集めることができなかった場合でも、水素ガスの混合気に火花を飛ばすことで確実に点火することができる。その結果、ガソリンの混合気を所望のタイミングで確実に自着火させることが可能となる。

【 0 0 9 4 】

更に、水素ガスの混合気は、ガソリンの混合気に比べて着火遅れ時間が短いという特性も備えている。着火遅れ時間とは、混合気に点火する際に現れる次のような特性を言う。通常、火花を飛ばして混合気に点火する場合、次のような過程を踏む。まず、混合気中に火花を飛ばすことにより、火炎核と呼ばれる火種が形成される。火炎核の内部には、活性の高い中間生成物が生成されており、この中間生成物が燃料の分子と反応して新たな中間生成物を生成する反応が進行する。こうして、火炎核の内部である程度の中間生成物が蓄積されると、発熱反応が開始され火炎が発生して周囲の混合気に燃え広がっていく。このように混合気に点火する場合、火花を飛ばしてから火炎が周囲に広がり始めるまでの間には時間の遅れが存在しており、この遅れ時間は着火遅れ時間と呼ばれる。着火遅れ時間は、中間生成物の蓄積のし易さに関係することからも明らかなように、燃料の種類によって異なっている。また、同じ燃料の混合気であっても、僅かな条件の違いによって、着火遅れ時間にはばらつきが発生する。

【 0 0 9 5 】

水素ガスは、ガソリンに比べて着火遅れ時間がたいへんに短く、火花を飛ばす

と直ちに火炎が周囲に広がっていく。この様に着火遅れ時間が短いので、多少のばらつきが存在していても、点火プラグ 1 3 6 で火花を飛ばしてから火炎が広がり始めるタイミングのばらつきは極めて僅かである。このため、点火プラグで火花を飛ばして点火する混合気を水素ガスの混合気とすることで、ガソリンの混合気を自着火させるタイミングを正確に制御することが可能となる。

【 0 0 9 6 】

このように、水素ガスは着火範囲が広いという特性があるので、燃焼室内に水素ガスを噴射するタイミングは、図 1 0 を用いて説明したように、圧縮上死点の直前のタイミングに設定されている。すなわち、水素ガスは、噴射されてから混合気中に十分に拡散していなくても点火することができるので、噴射時期を点火の直前のタイミングまで遅らせることが可能となる。こうして噴射のタイミングを遅らせることができれば、噴射した水素ガスが拡散する時間が短くなるので、混合気を点火プラグ 1 3 6 の付近に集め易くなると言う利点も生じる。更に、混合気が自着火する現象は、混合気を受ける熱の履歴に依存していると考えられるので、水素ガスの噴射タイミングを遅らせてやれば混合気が高温に晒される時間が短くなり、より一層確実に自着火を回避することが可能となる。

【 0 0 9 7 】

また、水素ガスは着火遅れ時間が短いという特性があるので、点火プラグ 1 3 6 から火花を飛ばすタイミングは、図 1 0 に示すように、圧縮上死点の直後のタイミングに設定されている。すなわち、水素ガスは火花を飛ばすと直ちに火炎が広がって周囲の混合気を燃焼させるので、点火のタイミングは、ガソリンの混合気を圧縮自着火させたいタイミングの直前に設定されている。

【 0 0 9 8 】

以上の説明から明らかなように、水素ガス以外の高オクタン価の燃料、例えば、メタンガス、エタンガス、プロパンガス、天然ガスなどを用いる場合、あるいはメタノールなどのアルコール類を用いる場合は、燃料噴射時期あるいは点火時期は、それぞれの特性に合わせて適切な時期に設定される。例えば、メタンガス、エタンガスなどや、メタノールなどのアルコール類を噴射する場合は、水素ガスに比べて可燃範囲が狭いので、燃料の噴射後、混合気の空気過剰率が着火可能

な値となるまでの時間も長くなる。従って、燃料噴射時期は、水素ガスを噴射するタイミングよりも早いタイミングに設定される。例えば、アルコール類を噴射する場合は、圧縮上死点前90度から圧縮上死点前30度の範囲内の適切なタイミングで噴射される。また、これらの燃料は、水素ガスに比べれば着火遅れ時間が長いので、その分だけ、水素ガスを噴射した場合よりも、点火時期は早めのタイミングに設定される。

【0099】

こうして水素ガス、あるいは、メタンガス、エタンガスや、アルコール類などの、高オクタン価の燃料を噴射するためには、これらの燃料を蓄えるための貯蔵タンクが必要となる。第1実施例のエンジン10では、図1に示したように、加圧した水素ガスを蓄えるための水素貯蔵タンク170が設けられている。しかし、これら燃料の混合気が燃焼するのは、燃焼室内の容積が最も小さくなっている圧縮上死点付近である。このため、少量の燃料を燃焼させるだけで、燃焼室内の圧力を効果的に上昇させることができる。例えば、水素ガスを噴射する場合は、1回あたりの噴射量は、高々0.1~0.5mg程度の少量で足りる。水素ガス以外の高オクタン価の燃料を噴射する場合も、同様の理由から少量の燃料を噴射するだけで良い。このことから、水素貯蔵タンク170など、ガソリンタンクとは別体に設けなければならない貯蔵タンクは小さな容量のタンクとすることができる。

【0100】

以上の説明においては、図10に示したように、排気バルブ134を閉じるタイミングは、ピストン144が上死点に達した少し後のタイミングに設定されているものとした。こうすれば、燃焼室内の排気ガスを完全に排出することが可能である。また、吸気バルブ132を開くタイミングは、ピストン144が上死点に達する少し手前のタイミングに設定されているものとした。こうすれば、吸入空気を十分に吸い込むことが可能である。もっとも、混合気を圧縮して自着火させる予混合圧縮自着火燃焼方式を適用したエンジンでは、排気バルブ134を閉じるタイミングや、吸気バルブ132を開くタイミングを、図13に示すようなタイミングに設定することとしても良い。すなわち、排気バルブ134が閉じる

タイミングを、ピストン 1 4 4 が上死点に達する手前に設定してやる。こうすれば、ピストン 1 4 4 が燃焼室内の排気ガスを排出している最中に排気バルブ 1 3 4 を閉じることになるので、燃焼室内には排気ガスが多量に残留することになる。ピストン 1 4 4 は、残留した排気ガスを圧縮しながら上昇していく。一方、吸気バルブ 1 3 2 が開くタイミングは、ピストンが上死点を越えた少し後のタイミングに設定してやる。こうすれば、ピストン 1 4 4 が上死点から少し降下して燃焼室内の圧力が下がった時点で吸気バルブ 1 3 2 が開くことになるので、燃焼室内で圧縮された排気ガスが吸気通路 1 2 内に逆流することなく、ピストン 1 4 4 の降下とともに空気が燃焼室内に流入する。

【 0 1 0 1 】

以上に説明したように、吸気バルブと排気バルブの開閉時期を、図 1 3 に示すようなタイミングに設定してやれば、燃焼室内には多量の排気ガスが残留することになる。燃焼室内に残留する排気ガスは、吸入空気に対して高温なため、混合気の温度は圧縮前の状態から高くなっている。更に、こうした排気ガス中には、燃焼によって発生した活性な中間生成物が多量に含まれているので、圧縮開始前から混合気の温度が高くなっていることと相まって、混合気を自着火させ易い条件とすることができる。その結果、エンジン 1 0 の圧縮比を比較的低めに設定した場合でも、予混合圧縮自着火燃焼を実現することが可能となる。

【 0 1 0 2 】

以上に説明したように、第 1 実施例のエンジン 1 0 では、高負荷条件では水素ガスの混合気に点火プラグ 1 3 6 で点火することによって、ノックの発生を回避することができる。もっとも、点火プラグ 1 3 6 で点火するタイミングが何らかの原因で早すぎる場合には、ノックが発生してしまうことが考えられる。このような場合は、シリンダブロック 1 4 0 に設けたノックセンサ 2 5 でノックの発生を検出し、点火時期を遅角させる。こうして点火時期を遅角させれば、ノックの発生を確実に回避することが可能である。もちろん、ノックセンサ 2 5 ではなく、圧力センサ 2 3 を用いてノックの発生を検出することも可能である。すなわち、ノックが発生している場合は、燃焼室内で急激に圧力が上昇することから、圧力センサ 2 3 の出力から算出した圧力の上昇速度に基づいて、ノックの発生を検出

することとしても構わない。

【0103】

あるいは、点火時期が速すぎると、排気ガス中の窒素酸化物の濃度が増加することから、排気通路16に設けたNO_xセンサ21の出力に基づいて、排気ガス中の窒素酸化物の濃度を検出し、検出した濃度が所定の閾値を超えた場合には、点火プラグ136の点火時期を遅角することとしてもよい。こうすれば、点火時期を適切な時期に修正することにより、排気ガス中の窒素酸化物の濃度を効果的に減少させることができる。

【0104】

また、第1実施例のエンジン10では、こうした点火時期の変更に合わせて、燃料噴射弁14の噴射時期も変更し、水素ガスを噴射してから点火プラグ136で点火するまでのタイミングが大きく変動しないように保たれている。このため、点火時期の変動に関わらず、点火プラグ136の近傍には常に適切な濃度の混合気を形成することができるので、点火プラグ136で確実に点火することが可能である。

【0105】

ここで、上述した第1実施例のエンジン10においては、予混合圧縮自着火燃焼方式を採用することによって、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時に且つ大幅に低減することが可能となっている理由について、簡単に説明しておく。

【0106】

予混合圧縮自着火燃焼方式がこのような優れた特性を示す理由は、「等容度の向上」と、「空気過剰率の増加」、および「比熱の増加」の3つの要因によるものと考えられる。まず、第1の要因である「等容度の向上」について説明する。内燃機関のサイクル論の教えるところによれば、ガソリンエンジンの効率は、ピストンが圧縮上死点のタイミングで、燃焼室内の全ての混合気が瞬間的に（すなわち無限小の時間で）燃焼した時に最高効率が得られる。もっとも、実際には燃焼室内の混合気を瞬間的に燃焼させることはできないが、燃焼室内の混合気を短時間で燃焼させる程、エンジンの効率を向上させることができる。等容度とは、

全ての混合気の燃焼を如何に短時間で完了させたかを示す指標と考えることができる。等容度が高くなるほど、エンジンの効率は高くなる。

【 0 1 0 7 】

予混合圧縮自着火燃焼方式では、混合気を圧縮して自着火させることにより、燃焼室内の混合気の燃焼をほぼ同時に開始することができる。その結果、全ての混合気の燃焼がほぼ同時に完了することになり、等容度を大きく向上させることができる。こうして等容度を向上させることができるので、エンジンの効率が改善されて、燃料消費量を大きく減少させることが可能となるのである。

【 0 1 0 8 】

次に、予混合圧縮自着火燃焼方式が優れた特性を示す第2の要因である「空気過剰率の増加」について説明する。予混合圧縮自着火燃焼方式では混合気の空気過剰率の大きな混合気を燃焼させるので、2つのメカニズムにより大気汚染物質の排出量を低減させることができる。先ず一つめは、燃焼速度の低下によるものである。ここで言う燃焼速度とは、燃焼反応が進行する速度のことである。前述した等容度は、燃焼室内の全ての混合気を燃焼させるために要する時間に関係した指標であって、例えば、燃焼室の端から順々に混合気を燃焼させた場合には、如何に燃焼反応の速度が速くても全ての混合気を燃焼させるためには、長い時間がかかってしまい、等容度は小さくなってしまう。このように、混合気の燃焼速度と、燃焼室内の全ての混合気を燃焼させるために要する時間とは明確に区別して考える必要がある。

【 0 1 0 9 】

一般に、混合気の燃焼速度は空気過剰率に強く依存しており、空気過剰率「1」の付近で燃焼速度は最も速く、空気過剰率が大きくなるに連れて燃焼速度は遅くなる傾向がある。前述したように、予混合圧縮自着火燃焼方式では、空気過剰率の大きな混合気を燃焼させるので、燃焼速度は小さくなっている。燃焼速度を低下させることができれば、次の理由から、大気汚染物質である窒素酸化物の排出量を減少させることができる。

【 0 1 1 0 】

排気ガス中に含まれる窒素酸化物は、その大部分が空気中に含まれる窒素分子

と酸素分子とが、燃焼による熱の影響で反応することにより発生すると考えられている。すなわち、窒素分子は安定な化合物であることから、かなりの高温に晒されて初めて酸素と反応して窒素酸化物を生成するものと考えられている。ここで、燃焼速度が低く、混合気がゆっくりと燃焼する場合は、燃焼によって発生した熱の多くは周囲に伝わり、残った熱が、燃焼している部分の混合気の温度を上昇させる。特に、エンジンの燃焼室内に形成された混合気には、「乱れ」と呼ばれる微細な流動が残存しており、この乱れの影響で燃焼熱は周囲にどんどん拡散していく。これに対して、燃焼速度が高い場合には、燃焼によって発生した熱が拡散する暇もなく燃焼が完了するので、混合気中で、正に燃焼している部分が極めて高温となる。空気中には窒素分子が多量に含まれているので、僅かな時間でも高温に達すると、窒素分子が酸素と反応して窒素酸化物が発生する。しかし、窒素分子が酸素と反応する温度に達しなければ、窒素酸化物はほとんど発生することはない。

【 0 1 1 1 】

予混合圧縮自着火燃焼方式では、空気過剰率の大きな混合気を燃焼させるので、燃焼速度が低くなっている。このため、上述した理由から、窒素酸化物をほとんど発生させずに混合気を燃焼させることができるのである。

【 0 1 1 2 】

また、予混合圧縮自着火燃焼方式では、空気過剰率の大きな混合気を燃焼させているために、大気汚染物質である一酸化炭素や炭化水素などの排出量を、次のようなメカニズムによって大きく低減させることができる。

【 0 1 1 3 】

一酸化炭素や炭化水素などの大気汚染物質は、燃料に対して酸素が不足している条件で燃焼させたときに、燃料が酸素と十分に反応できないまま排出されたものと考えられることができる。予混合圧縮自着火燃焼方式では、空気過剰率の大きな混合気を燃焼させるので、燃料に対して酸素が十分に存在している条件で燃焼させることができる。このため、一酸化炭素や炭化水素などの排出量を大幅に減少させることが可能となるのである。

【 0 1 1 4 】

最後に、予混合圧縮自着火燃焼方式が優れた特性を示す第3の要因である「比熱の増加」について説明する。この要因も、空気過剰率の大きな混合気を燃焼させていることに密接に関係している。空気過剰率が「1」より小さな混合気を燃焼させた場合、燃料に対して十分な酸素が存在しないために、燃料は二酸化炭素や水の状態まで酸化されずに、一酸化炭素あるいは水素の状態で反応が止まってしまう。また、例え混合気全体では空気過剰率が「1」を超えている場合でも、燃料の濃度には多少のばらつきがあるために、局所的には酸素が不足している領域が発生し、一酸化炭素や水素が発生する。これに対して予混合圧縮自着火燃焼方式では、空気過剰率が十分に大きな混合気を燃焼させているので、燃料は二酸化炭素および水蒸気の状態まで完全に酸化される。

【0115】

ここで、二酸化炭素や水蒸気は3つの原子が集まって形成された三原子分子であるのに対し、一酸化炭素や水素分子は2つの原子が集まって形成された二原子分子である。統計熱力学の教えるところによれば、三原子分子は二原子分子よりも比熱の値が大きく、従って、三原子分子の方が温度が上昇し難いと言える。このことから、予混合圧縮自着火燃焼方式では、空気過剰率の大きな混合気を燃焼させるので、三原子分子である二酸化炭素や水蒸気の割合が高い分だけ比熱が大きくなる。その結果、燃焼温度が抑制されて、窒素酸化物の排出量が大きく減少しているものと考えられる。

【0116】

本実施例のエンジン10は、エンジンの負荷にかかわらず混合気を予混合圧縮自着火させて燃焼させることができるので、以上に説明した理由から、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時にしかも大幅に減少させることが可能となるのである。

【0117】

A-4. 変形例：

上述した第1実施例には、各種の変形例が存在している。以下では、これらの変形例について簡単に説明する。

【0118】

(1) 第1の変形例：

図14は、第1実施例の第1の変形例のエンジン10における燃焼室構造を示す説明図である。図14(a)は、燃焼室の断面図であり、図14(b)は、シリンダヘッド130側から見たピストン頂面形状を示す上面図である。前述した第1実施例では、ガソリンを噴射するための燃料噴射弁15は、吸気通路12に設けられており、水素ガスを噴射する燃料噴射弁14は燃焼室に設けられていた。これに対して、第1の変形例では、ガソリンを噴射するための燃料噴射弁19と、水素ガスを噴射するための燃料噴射弁14とをいずれも燃焼室に設け、ガソリンも水素ガスも、ともに燃焼室内に直接噴射する。

【0119】

このように、燃焼室内にガソリンを直接噴射する場合は、吸気行程の前半の所定のタイミングで噴射する。吸気バルブ132および排気バルブ134の開閉タイミングと、燃料を噴射するタイミングの設定例を図15に示す。図15(a)に示すように、排気バルブ134を閉じる時期を上死点後に設定し、また吸気バルブ132を開くタイミングを上死点前に設定している場合は、吸気行程の前半の適切なタイミングで燃料噴射弁19から燃焼室内にガソリンを噴射してやる。こうすれば、噴射されたガソリンは、吸気バルブ132を通過する吸入空気とともに燃焼室内に流入し、流入後は燃焼室内を空気とともに流動し、均一な混合気を形成することができる。

【0120】

あるいは、図15(b)に示すように、排気バルブ134を上死点の手前で閉じ、吸気バルブ132を上死点後に開く場合にも、ピストン144が降下し始めた適切なタイミングで、燃料噴射弁19からガソリンを燃焼室内に直接噴射してやればよい。このように、ピストンが降下し始めてからガソリンを噴射してやれば、噴射したガソリンがピストン頂面に付着することを抑制することができ、また、燃焼室内に残留している高温の排気ガスによってガソリンを速やかに気化させることができる。更に、続いて吸気バルブ132が開くとともに流入する空気によって、ガソリンは燃焼室内で攪拌され、均一な混合気を形成することが可能である。

【 0 1 2 1 】

一方、水素ガスについては、前述した第 1 実施例と同様に、圧縮上死点の直前のタイミングで噴射する。こうして噴射された水素ガスは、図 1 4 に示すように、ピストン 1 4 4 の頂面に形成された案内溝 1 4 3 に導かれ、ピストン頂面の点火プラグ 1 3 6 に対向する位置に形成された凹部 1 4 5 に集められる。そして、圧縮上死点後の適切なタイミングで、水素ガスの混合気に点火してやる（図 1 5 参照）。こうして、ガソリンの混合気を圧縮自着火させれば、水素ガスに点火するタイミングによってガソリンの混合気の自着火時期を制御し、ノックの発生を確実に回避することができる。

【 0 1 2 2 】

(2) 第 2 の変形例：

上述した各種実施例においては、点火プラグ 1 3 6 は、水素ガスを噴射する燃料噴射弁 1 4 から離れた位置に設けられており、噴射した水素ガスを点火プラグ 1 3 6 の近傍に導くために、案内溝 1 4 3 がピストン頂面に形成されているものとして説明した。これに対して、水素ガスを噴射する燃料噴射弁 1 4 と点火プラグ 1 3 6 とが近接した位置に設けることとしてもよい。

【 0 1 2 3 】

図 1 6 は、第 1 実施例の第 2 の変形例のエンジン 1 0 における燃焼室構造を示す説明図である。図 1 6 (a) は燃焼室の断面図であり、図 1 6 (b) はシリンダヘッド 1 3 0 側から見たピストン頂面形状を示す上面図である。第 2 の変形例のエンジン 1 0 では、図示するように、水素ガスを噴射する燃料噴射弁 1 4 に隣接して、点火プラグ 1 3 6 が設けられており、これら燃料噴射弁 1 4 および点火プラグ 1 3 6 に対向する位置のピストン頂面には、凹部 1 4 5 が設けられている。ピストンの圧縮上死点付近で、燃料噴射弁 1 4 から燃焼室内に水素ガスを噴射すると、噴射された水素ガスはピストン頂面に設けられた凹部 1 4 5 で混合気を形成し、圧縮上死点後の適切なタイミングで点火プラグ 1 3 6 によって点火される。

【 0 1 2 4 】

こうした第 2 の変形例のエンジン 1 0 では、噴射された水素ガスは、前述した

各種実施例のように案内溝 1 4 3 を経由することなく、直ちに凹部 1 4 5 に供給される。こうした構成では水素ガスを凹部 1 4 5 に導く必要がなく、そのための時間が不要となるので、水素ガスを噴射するタイミングを点火のタイミングに近づけることができる。こうすれば、水素ガスが広い範囲に拡散する前に点火することができるので、水素ガスの噴射量はより少量でも足りることになる。このため、水素ガスを節約して、搭載する水素貯蔵タンク 1 7 0 を小さなものとして行うことができるので好適である。前述したように、水素ガスは着火範囲が広いことから、水素ガスの濃度が多少高くても、点火プラグ 1 3 6 から火花を飛ばして点火することが可能であり、噴射してから点火するまでの時間が短くなっても確実に点火することができる。

【 0 1 2 5 】

(3) 第 3 の変形例：

上述した各種実施例においては、水素ガスの混合気が滞留する凹部 1 4 5 は、ピストン側に設けられているものとして説明したが、シリンダヘッド 1 3 0 側に凹部 1 4 5 を設けたり、あるいはシリンダヘッド 1 3 0 およびピストン頂面の対向する面に凹部 1 4 5 を設けることとしてもよい。

【 0 1 2 6 】

図 1 7 は、第 1 実施例の第 3 の変形例のエンジン 1 0 における燃焼室構造を示す説明図である。図 1 7 (a) は燃焼室の断面図であり、図 1 7 (b) はシリンダヘッド 1 3 0 側から見たピストン頂面形状を示す上面図である。第 3 の変形例のエンジン 1 0 では、図示するように、シリンダヘッド 1 3 0 に凹部 1 4 5 a が設けられており、水素ガスを噴射する燃料噴射弁 1 4 および点火プラグ 1 3 6 は、この凹部 1 4 5 a の中に設けられている。また、ピストン頂面の、凹部 1 4 5 a に対向する位置には凹部 1 4 5 b が設けられている。

【 0 1 2 7 】

こうした第 3 の変形例のエンジン 1 0 では、圧縮上死点付近で燃料噴射弁 1 4 から燃焼室内に水素ガスを噴射すると、水素ガスはこれら凹部 1 4 5 a と凹部 1 4 5 b との間に留まって混合気を形成する。こうすれば、噴射した水素ガスが燃焼室内の広い範囲の拡散することがないので、より少量の水素ガスを噴射するだ

けで足りる。このため水素ガスを節約することでき、搭載する水素貯蔵タンク 170 を小さなものとするのが可能となる。

【0128】

B. 第2実施例：

上述した第1実施例では、エンジン10は4サイクル式のエンジンであるものとして説明したが、本発明は4サイクル式のエンジンに限らず他の方式のエンジンに適用することも可能である。以下では、エンジンの運転条件に応じて、4サイクル運転と2サイクル運転とを切り換えながら運転するエンジン300に、本発明を適用した第2実施例について説明する。

【0129】

B-1. 装置構成：

図18は、第2実施例のエンジン300の構造を概念的に示した説明図である。第2実施例のエンジン300は、図1に示した第1実施例のエンジン10とほぼ同様の構造を有しているが、第1実施例に対して、次の点が大きく異なっている。

【0130】

先ず、第2実施例のエンジン300では、吸気バルブ132および排気バルブ134が、それぞれ電動アクチュエータ162、164によって駆動されている。電動アクチュエータ162、164は、円盤状の電歪素子を複数枚積み重ねた構造となっている。ECU30から信号を出力して、電歪素子に印加する電圧を変更することにより、電動アクチュエータ162、164は、任意のタイミングでそれぞれの吸気バルブ132および排気バルブ134を開閉することが可能となっている。

【0131】

また、第2実施例のエンジン300では、排気通路16に過給機50が設けられている。過給機50は、排気通路16に設けられたタービン52と、吸気通路12内に設けられたコンプレッサ54と、タービン52とコンプレッサ54とを連結するシャフト56などから構成されている。燃焼室から勢いよく排出された排気ガスが、排気通路16を通過する際にタービン52を回転させると、シャフ

ト 5 6 を介してコンプレッサ 5 4 が駆動され、吸気通路 1 2 の吸入空気を加圧することが可能となっている。また、第 2 実施例のエンジン 3 0 0 では、吸気通路 1 2 にインタークーラ 6 2 およびサージタンク 6 0 も設けられている。インタークーラ 6 2 は、コンプレッサ 5 4 によって加圧されて温度が上昇した吸入空気を冷却する機能を有している。また、サージタンク 6 0 は、吸入空気が燃焼室内に吸い込まれる際に発生する圧力波を緩和させる機能を有している。

【 0 1 3 2 】

第 2 実施例のエンジン 3 0 0 も、第 1 実施例のエンジン 1 0 と同様に、エンジン制御用ユニット（以下、ECU）3 0 によって制御されている。また、ECU 3 0 は、エンジン回転速度 N_e やアクセル開度 θ_{ac} を検出し、これらに基づいて 4 サイクル運転と 2 サイクル運転とを切り換える制御も行う。周知のように、4 サイクル運転では、ピストンが 2 往復する間に 1 回の割合で、混合気の吸入と燃焼と排気とを行うのに対し、2 サイクル運転では、ピストンが 1 往復するたびに、吸入と燃焼と排気とを行う。ピストン 1 4 4 の動きに同期させて、吸気バルブ 1 3 2、排気バルブ 1 3 4 を開閉させるタイミングを変更し、また、燃料噴射弁 1 4、1 5、点火プラグ 1 3 6 などを駆動するタイミングを切り換えてやれば、4 サイクル運転と 2 サイクル運転とを切り換えることができる。

【 0 1 3 3 】

図 1 9 は、エンジンの運転条件によって 4 サイクル運転と 2 サイクル運転とが設定されている様子を示す説明図である。図中でハッチングを付して示した領域が 4 サイクル運転を行う領域である。図示するように、アクセル開度 θ_{ac} が小さい条件（極低負荷条件）、あるいはエンジン回転速度が高い条件（高回転条件）では 4 サイクル運転を行い、他の条件では 2 サイクル運転を行う。

【 0 1 3 4 】

アクセル開度 θ_{ac} が小さい領域では、燃焼室内に吸入される空気量および燃料量が少ないので、燃焼室内の混合気の圧縮開始時の圧力が低くなる。このため、ピストンで圧縮しても混合気が自着火し難い傾向がある。そこで、このような場合には 4 サイクル運転とすることで、エンジンの運転状態を良好に保っている。

【 0 1 3 5 】

また、2サイクル運転では、混合気の吸入と燃焼と排気とを、ピストンが1往復する間に行うことから、エンジン回転速度が高い条件では、これらを効率よく行うことが次第に困難となる。そこで、この様な条件においても4サイクル運転とすることで、エンジン回転速度が高い条件で良好に運転することを可能としている。

【0136】

一方、エンジン回転速度がそれほど高くはなく、しかもアクセル開度がそれほど小さくはない運転条件では、2サイクル運転を行う。2サイクル運転では、ピストン144が1往復するたびにトルクを発生させることができるので、4サイクル運転時よりも大きなトルクを発生させることができる。また、2サイクル運転においても、アクセル開度が比較的小さい条件（低負荷条件）とアクセル開度が大きい条件（高負荷条件）とで制御内容を切り換える。

【0137】

B-2. 第2実施例における混合気の燃焼制御：

第2実施例のエンジン300は、エンジンの運転条件に応じて4サイクル運転と2サイクル運転とを切り換えながら、次のようにして混合気の燃焼状態を制御している。図20は、4サイクル運転時に、ピストン144の動きに同期させて吸気バルブ132および排気バルブ134を開閉させるタイミングを示した説明図である。図中には、燃料噴射弁15を駆動して吸気通路12内にガソリンを噴射するタイミングと、点火プラグ136から火花を飛ばしてガソリンの混合気に点火するタイミングとを併せて表示している。

【0138】

このように、ピストン144が上死点付近にあるタイミングで吸気バルブ132を開いてやれば、吸気通路12内の混合気をピストン144の降下とともに燃焼室内に吸入することができる。次いで、下死点付近で吸気バルブ132を閉じて混合気を圧縮し、上死点手前の所定のタイミングで点火してやれば、混合気を燃焼させてトルクを発生させることができる。ガソリンは、吸気通路12に設けた燃料噴射弁15から噴射してやる。このタイミングでは、吸気バルブ132は閉じられているので、噴射されたガソリンは吸気通路12内で蒸発して混合気を

形成する。

【 0 1 3 9 】

エンジン回転速度がそれほど高くはなく、アクセル開度も適度に大きな値である運転条件（図 1 9 で低負荷条件と表示した領域）では、図 2 1 に示すようなタイミングで、吸気バルブ 1 3 2 および排気バルブ 1 3 4 を開閉しながら燃料噴射弁 1 5 を駆動する。図 2 1 を参照しながら、低負荷条件におけるエンジン 3 0 0 の動作について簡単に説明する。

【 0 1 4 0 】

説明の便宜から、ピストン 1 4 4 が下死点（B D C）を過ぎて、吸気バルブ 1 3 2 が閉じた状態から説明する。このタイミングでは、燃焼室内には吸気バルブ 1 3 2 を通って流入した混合気が吸入されている。次いで、ピストン 1 4 4 を上昇させると、燃焼室内に吸入されていた混合気は次第に圧縮されていく。ピストンを上昇させて混合気を圧縮する一方で、燃料噴射弁 1 5 から吸気通路 1 2 内にガソリンを噴射する。このタイミングでは吸気バルブ 1 3 2 は閉じているので、噴射されたガソリンは吸気通路 1 2 内で気化して混合気を形成する。

【 0 1 4 1 】

燃焼室内の混合気はピストン 1 4 4 の上昇とともに圧縮され、ピストンがほぼ上死点に達した付近で自着火して速やかに燃焼を完了する。混合気の燃焼によって燃焼室内は高圧となるから、クランクシャフト 1 4 8 を回転させてピストン 1 4 4 を降下させると、燃焼室内の圧力がトルクに変換される。ピストン 1 4 4 の降下とともに燃焼室内の圧力は次第に低下していき、下死点に達する手前の所定のタイミングで排気バルブ 1 3 4 を開くと、排気バルブ 1 3 4 から排気通路 1 6 に燃焼ガスが噴出する。こうして噴出した排気ガスは、排気通路 1 6 内に設けられたタービン 5 2 を回転させコンプレッサ 5 4 を駆動して吸入空気を過給する。

【 0 1 4 2 】

排気バルブ 1 3 4 から排気ガスが流出し、更にピストン 1 4 4 が降下することで燃焼室内の圧力は急激に低下していくので、燃焼室内の燃焼ガスをある程度以上排出すると、それ以上は効率よく排出することができなくなる。そこで、ピストンが下死点（B D C）に達する以前のタイミングで吸気バルブ 1 3 2 を開いて

やる。吸気通路 1 2 内の空気は加圧されているので、吸気バルブ 1 3 2 を開くと加圧された混合気が流入して、燃焼室内の燃焼ガスが押し出されるようにして排気バルブ 1 3 4 から排出される。このように、排気バルブ 1 3 4 と吸気バルブ 1 3 2 が同時に開き、吸気バルブ 1 3 2 から流入した空気、燃焼室内に残留している燃焼ガスを押し出すようにして排出する動作は「掃気」と呼ばれる。

【 0 1 4 3 】

ピストン 1 4 4 が下死点 (B D C) を過ぎてしばらくすると燃焼室内の燃焼ガスがほぼ排出されるので、排気バルブ 1 3 4 を閉じてやる。このタイミングではまだ吸気バルブ 1 3 2 は開いているので、吸気通路 1 2 からは加圧された混合気が燃焼室内に流入する。混合気が流入するに連れて燃焼室内の圧力は上昇し、やがて過給圧とほぼ等しくなってそれ以上は流入しなくなる。そこで、この様なタイミングを見計らって吸気バルブ 1 3 2 を閉じてやる。以降は、上述した一連の処理を繰り返すことにより、混合気を圧縮自着火させながらトルクを出力する。こうして低負荷条件において混合気を圧縮自着火させながら運転すれば、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時に且つ大幅に減少させることが可能となる。

【 0 1 4 4 】

第 1 実施例で説明したように、混合気を圧縮自着火させながら燃焼させる方式では、負荷が高くなるとノックが発生し易くなる。そこで、エンジン回転速度がそれほど高くはないが、アクセル開度が所定値以上に大きな値を取る運転条件 (図 1 9 で高負荷条件と表示した領域) では、ノックを発生させることなく混合気を圧縮自着火させるために、次のようにしてエンジン 3 0 0 を運転する。図 2 2 は、高負荷条件時における吸気バルブ 1 3 2 および排気バルブ 1 3 4 の開閉時期と、燃料噴射弁 1 4 , 1 5 の駆動時期と、点火プラグ 1 3 6 から火花を飛ばす時期を示した説明図である。図 2 1 に示した低負荷条件におけるタイミングと比べて、水素ガスを噴射している点および点火プラグ 1 3 6 を駆動している点が大きく異なっている。以下、図 2 2 を参照することにより、高負荷条件におけるエンジン 3 0 0 の動作について簡単に説明する。

【 0 1 4 5 】

低負荷条件の場合と同様に、ピストン 1 4 4 が下死点（B D C）を過ぎて、吸気バルブ 1 3 2 が閉じたタイミングから説明する。吸気バルブ 1 3 2 を閉じてピストン 1 4 4 を上昇させると、燃焼室内の混合気が圧縮されていく。高負荷条件では、圧縮途中で混合気が自着火することを避けるために、ピストンによる圧縮では自着火しない程度に混合気の空気過剰率が大きな値に設定されている。また、ピストン 1 4 4 を上昇させて混合気を圧縮する一方で、吸気通路 1 2 に設けた燃料噴射弁 1 5 からガソリンを噴射して、通路内に混合気を形成しておく。こうして吸気通路 1 2 内に形成された混合気は、次に吸気バルブ 1 3 2 が開いた際に燃焼室内に流入する。

【 0 1 4 6 】

次いで、ピストン 1 4 4 がほぼ上死点（T D C）に達する直前のタイミングで、燃料噴射弁 1 4 から燃焼室内に水素ガスを噴射する。水素ガスを噴射するタイミングは、代表的にはピストンの上死点前 3 0 度から上死点までの範囲の適切なタイミングに設定されている。

【 0 1 4 7 】

また、第 2 実施例のエンジン 3 0 0 においても、第 1 実施例のエンジン 1 0 と同様に、ピストン 1 4 4 の頂面には案内溝 1 4 3 あるいは凹部 1 4 5 が設けられた特殊な形状となっており、噴射された水素ガスは凹部 1 4 5 で混合気を形成する。上死点を過ぎた辺りで点火プラグ 1 3 6 から火花を飛ばすことにより、こうして凹部 1 4 5 に形成された水素ガスの混合気に点火する。すると、水素ガスの混合気は速やかに燃焼して、周囲に存在するガソリンの混合気を圧縮する。燃焼室内に形成されたガソリンの混合気は、ピストンによる圧縮だけでは自着火しない程度に空気過剰率が大きな値に設定されているが、水素ガスの混合気を燃焼させて更に圧縮することで、自着火させることができる。こうすれば、水素ガスに点火するタイミングを調整することで、燃焼室内の混合気の自着火時期を制御することが可能となる。また、前述したように水素ガスの混合気は、オクタン価が高いために、燃焼室内に噴射した水素ガスの混合気が勝手に自着火することがない。更に、水素ガスの混合気は、着火範囲が広く、着火遅れ時間が短いと言った性質を備えているので、点火プラグ 1 3 6 から火花を飛ばすことによって、確実

に且つ正確なタイミングで点火することが可能である。

【0148】

こうして混合気を自着火させると燃焼室内は高圧となるから、クランクシャフト148を回転させてピストン144を降下させることで、燃焼室内の圧力がトルクに変換される。ピストン144が下死点に達する手前の所定のタイミングで排気バルブ134を開くと、燃焼室内の燃焼ガスが排気通路16内に噴出する。排気ガスの噴流は、通路内に設けられたタービン52を回転させ、コンプレッサ54を駆動して吸入空気を過給する。次いで、吸気バルブ132を開くと、過給された混合気が燃焼室内に流入して、燃焼室内に残っている燃焼ガスが掃気される。燃焼ガスがほぼ排出されたら排気バルブ134を閉じてやり、燃焼室内が過給圧となったタイミングを見計らって吸気バルブ132を閉じてやる。以降は、こうした処理を繰り返す。こうすることにより、高負荷条件においても、ノックを発生させることなく予混合圧縮自着火燃焼させることで、大気汚染物質の排出量と燃料消費量とを同時に且つ大幅に減少させることが可能となる。

【0149】

以上の説明では、吸気通路12に設けた燃料噴射弁15から通路内にガソリンを噴射し、水素ガスなどの高オクタン価の燃料は燃料噴射弁14から燃焼室内に噴射するものとして説明したが、燃焼室に設けた燃料噴射弁19から、ガソリンも燃焼室に直接噴射することとしても良い。この様な場合は、図23あるいは図24に示すようなタイミングで、燃料を噴射すればよい。図23は、4サイクル運転を行うときのタイミングを示し、図24(a)は低負荷条件で2サイクル運転を行うときのタイミングを示し、図24(b)は高負荷条件で2サイクル運転を行うときのタイミングを示している。図23に示すように、4サイクル運転を行う場合は、吸気行程の前半に、吸気バルブ132が開いているタイミングで、燃料噴射弁19から燃焼室内にガソリンを噴射してやる。こうすれば、噴射したガソリンは吸気バルブ132から流入した吸入空気とともに燃焼室内を流動し、均一な混合気を形成する。

【0150】

また、2サイクル運転を行う場合は、図24(a)および図24(b)に示す

ように、掃気行程の半ば以降、ピストンが下死点を越えた辺りのタイミングで燃料噴射弁 1 9 から燃焼室内にガソリンを噴射してやる。このようなタイミングでは、燃焼室内の燃焼ガスもほぼ排出されているので、噴射した燃料が排気バルブ 1 3 4 から排出されることを抑制することができる。また、噴射したガソリンは、燃焼室内に残った高温の燃焼ガスの影響で速やかに気化するとともに、ピストンが上死点に来るまでに空気と混じり合って均一な混合気を形成することができる。

【 0 1 5 1 】

以上、各種の実施例について説明してきたが、本発明は上記すべての実施例に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様で実施することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

予混合圧縮自着火燃焼方式を適用した第 1 実施例のエンジンの構造を概念的に示した説明図である。

【図 2】

第 1 実施例のエンジンの燃焼室の構造を概念的に示す説明図である。

【図 3】

第 1 実施例のエンジンにおいて行われるエンジン運転制御ルーチンの流れを示すフローチャートである。

【図 4】

エンジン回転速度と目標出力トルクとの組合せに応じて、低負荷条件あるいは高負荷条件のいずれの制御を行うかがマップの形式で記憶されている様子を概念的に示した説明図である。

【図 5】

低負荷条件用のマップに燃料噴射量と吸入空気量が設定されている様子を概念的に示した説明図である。

【図 6】

予混合圧縮自着火燃焼方式において、混合気を形成するための基本的な考え方

を概念的に示したブロック図である。

【図 7】

高負荷条件用のマップに燃料噴射量と吸入空気量と水素噴射量とが設定されている様子を概念的に示した説明図である。

【図 8】

低負荷条件において混合気を圧縮自着火させて燃焼させる様子を概念的に示した説明図である。

【図 9】

高負荷条件において混合気を圧縮自着火させて燃焼させる様子を概念的に示した説明図である。

【図 1 0】

高負荷条件における吸気バルブおよび排気バルブの開閉時期、燃料の噴射タイミング、点火タイミングの関係を概念的に示した説明図である。

【図 1 1】

燃焼室内にガソリンの混合気と、水素ガスの混合気とが形成されている様子を概念的に示した説明図である。

【図 1 2】

水素ガスの混合気の燃焼によってガソリンの混合気が圧縮されて自着火する様子を概念的に示した説明図である。

【図 1 3】

吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングの異なる設定例を示す説明図である。

【図 1 4】

第 1 実施例の第 1 の変形例のエンジンにおける燃焼室構造を示す説明図である。

【図 1 5】

第 1 実施例の第 1 の変形例において、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングと、燃料の噴射タイミングなどの設定例を示した説明図である。

【図 1 6】

第 1 実施例の第 2 の変形例のエンジンにおける燃焼室構造を示す説明図である。

【図 1 7】

第 1 実施例の第 3 の変形例のエンジンにおける燃焼室構造を示す説明図である。

【図 1 8】

第 2 実施例のエンジンの構造を概念的に示した説明図である。

【図 1 9】

第 2 実施例においてエンジンの運転条件に応じて 4 サイクル運転と 2 サイクル運転とが設定されている様子を示す説明図である。

【図 2 0】

4 サイクル運転時に、ピストンに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させ、燃料を噴射し、点火するタイミングを示した説明図である。

【図 2 1】

低負荷条件で 2 サイクル運転する場合に、ピストンに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させ、燃料を噴射するタイミングを示した説明図である。

【図 2 2】

高負荷条件で 2 サイクル運転する場合に、ピストンに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させ、燃料を噴射し、点火するタイミングを示した説明図である。

【図 2 3】

ガソリンを燃焼室内に直接噴射する構成で、4 サイクル運転を行う場合に各種タイミングの設定例を示した説明図である。

【図 2 4】

ガソリンを燃焼室内に直接噴射する構成で、2 サイクル運転を行う場合に各種タイミングの設定例を示した説明図である。

【符号の説明】

1 0 …エンジン

1 2 …吸気通路

- 1 4 …燃料噴射弁
- 1 5 …燃料噴射弁
- 1 6 …排気通路
- 1 7 …燃料噴射弁
- 1 9 …燃料噴射弁
- 2 0 …エアクリーナ
- 2 1 …NO_xセンサ
- 2 2 …スロットル弁
- 2 3 …圧力センサ
- 2 4 …電動アクチュエータ
- 2 5 …ロックセンサ
- 2 6 …触媒
- 3 0 …ECU
- 3 2 …クランク角センサ
- 3 4 …アクセル開度センサ
- 5 0 …過給機
- 5 2 …タービン
- 5 4 …コンプレッサ
- 5 6 …シャフト
- 6 0 …サージタンク
- 6 2 …インタークーラ
- 1 3 0 …シリンダヘッド
- 1 3 2 …吸気バルブ
- 1 3 4 …排気バルブ
- 1 3 6 …点火プラグ
- 1 3 7 …点火プラグ
- 1 4 0 …シリンダブロック
- 1 4 2 …シリンダ
- 1 4 3 …案内溝

1 4 4 … ピストン

1 4 5 … 凹部

1 4 5 a … 凹部

1 4 5 b … 凹部

1 4 6 … コネクティングロッド

1 4 7 … 反り返し部

1 4 8 … クランクシャフト

1 6 2, 1 6 4 … 電動アクチュエータ

1 7 0 … 水素貯蔵タンク

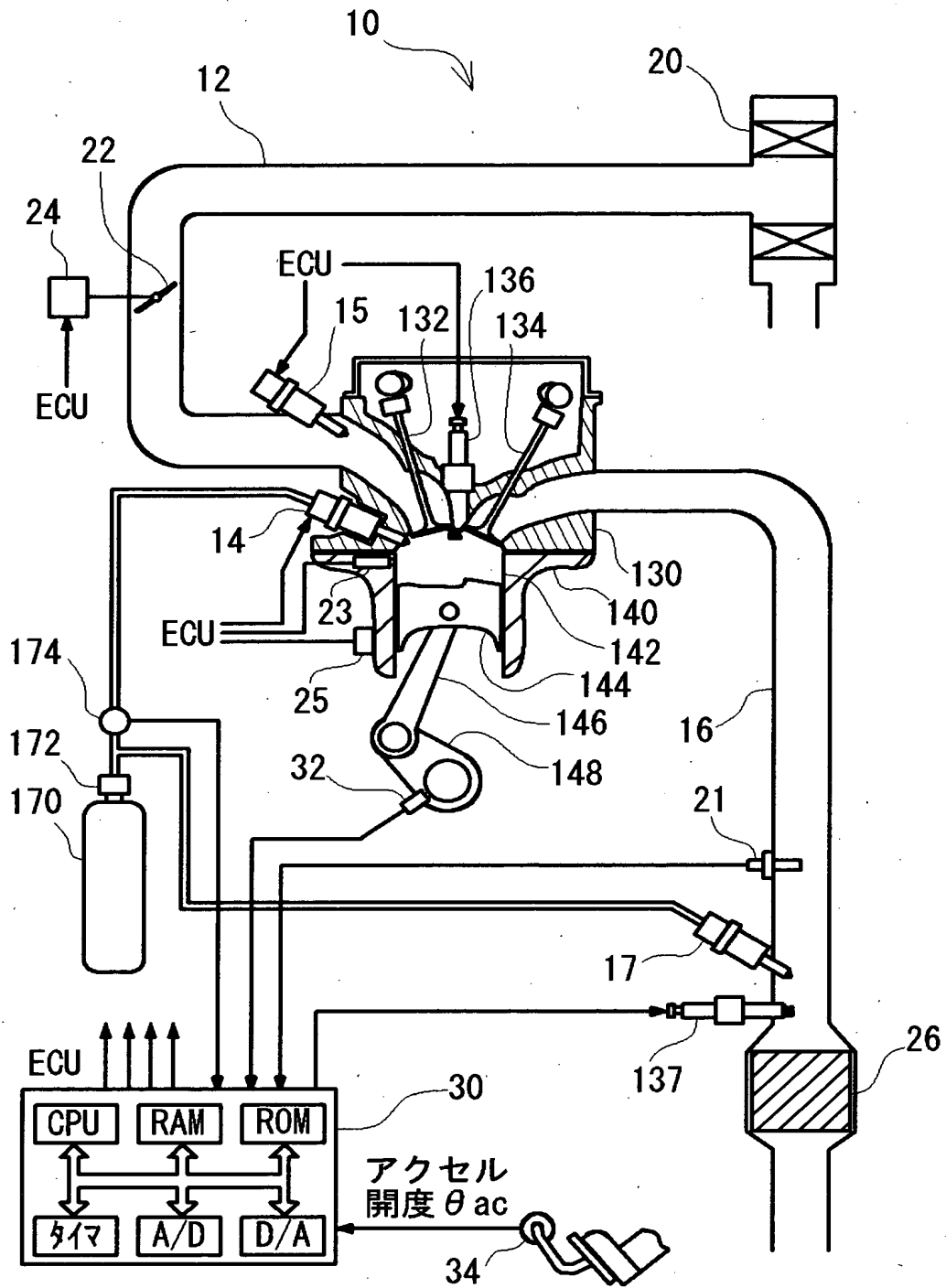
1 7 2 … レギュレータ

1 7 4 … 圧力センサ

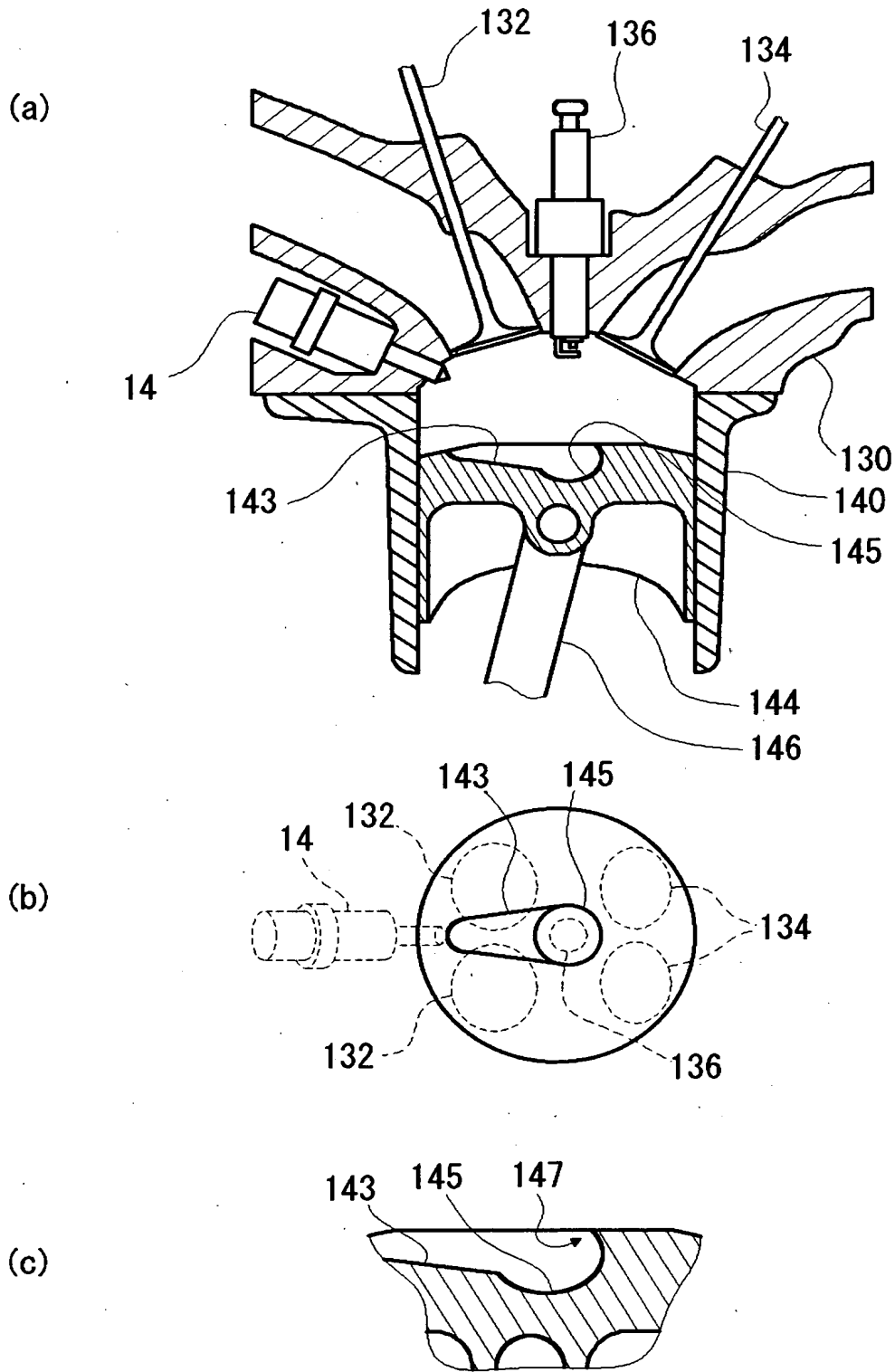
3 0 0 … エンジン

【書類名】 図面

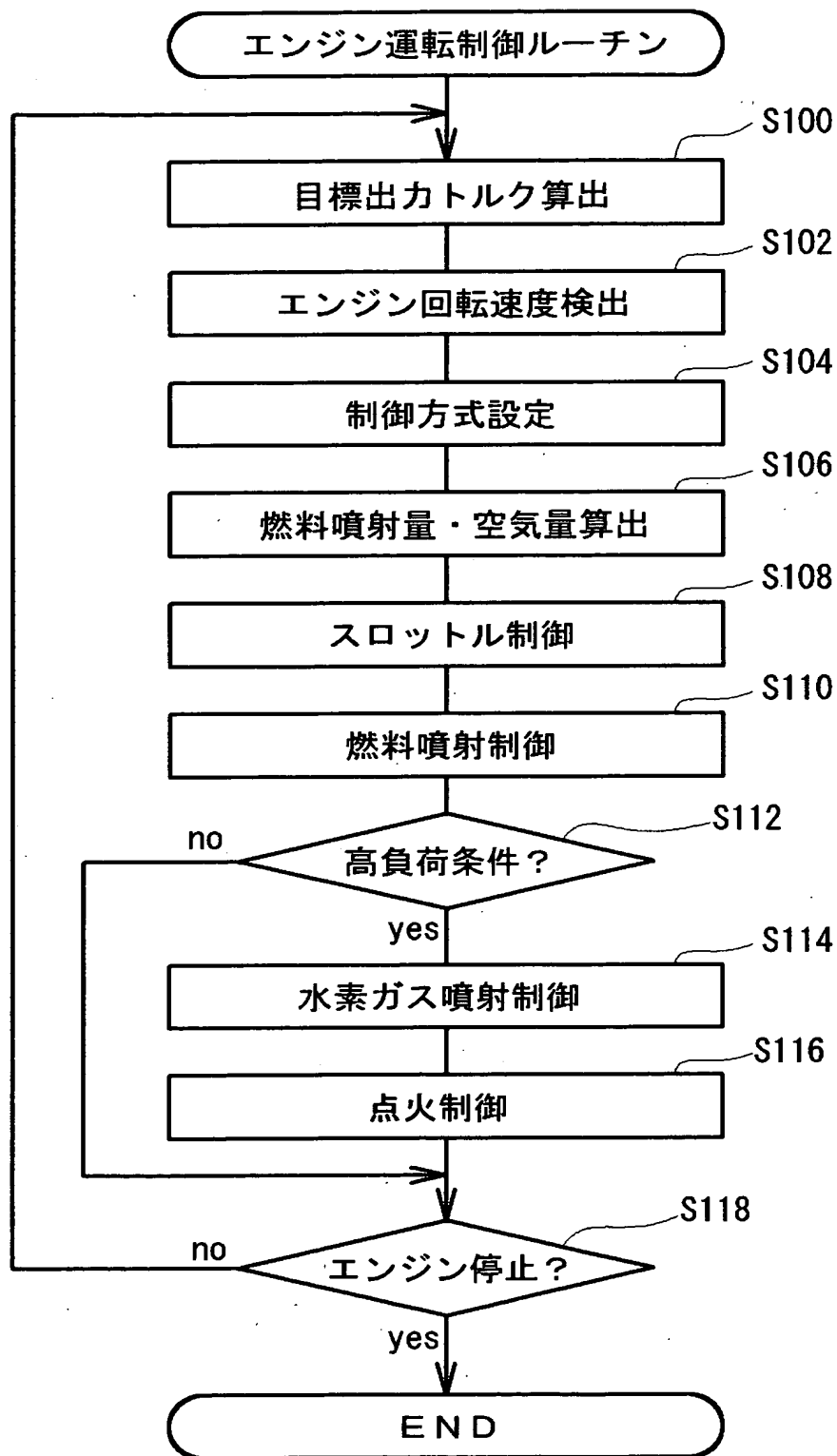
【図 1】



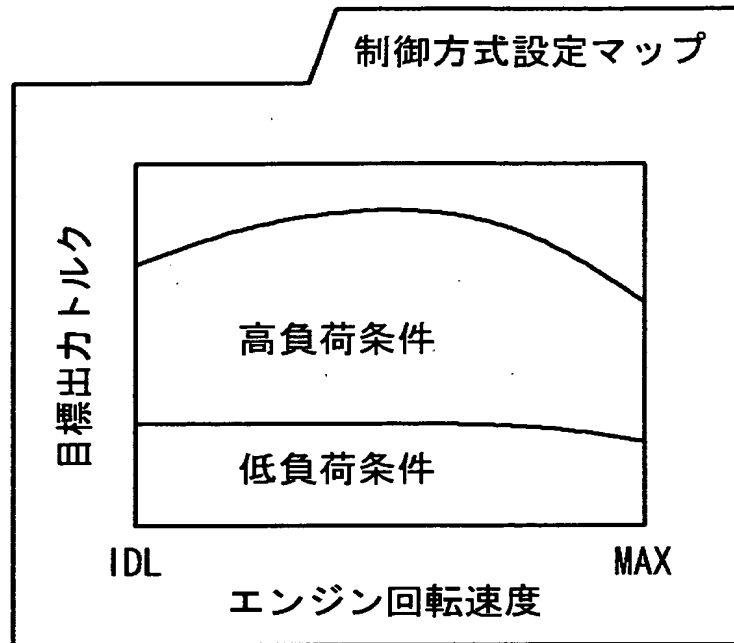
【図 2】



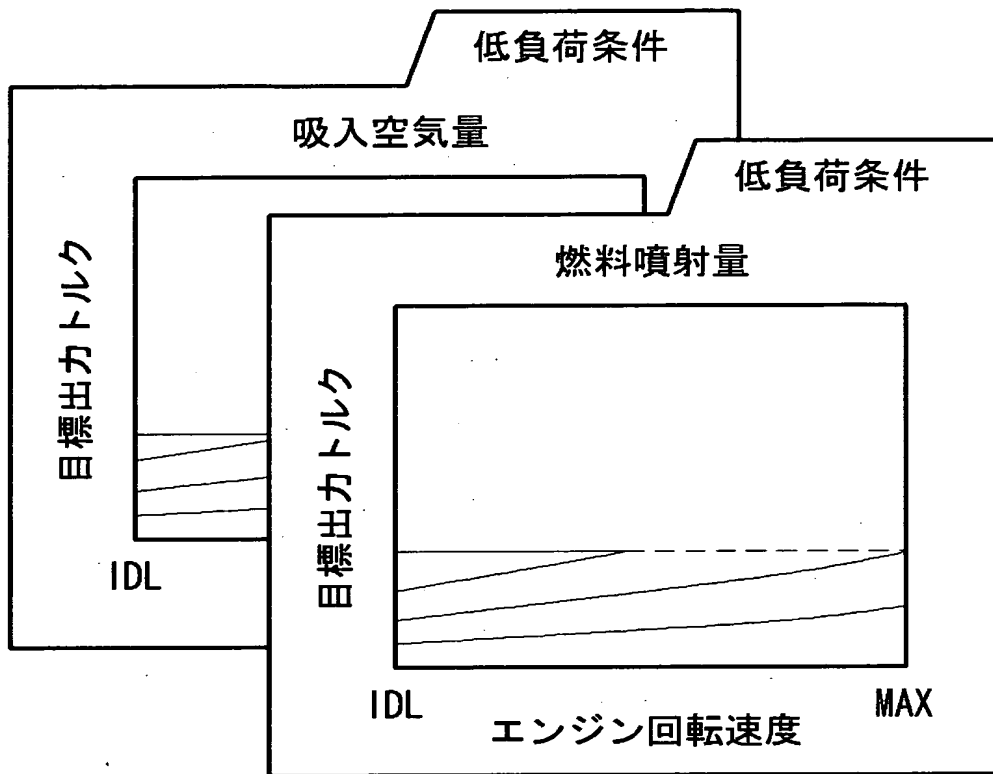
【図 3】



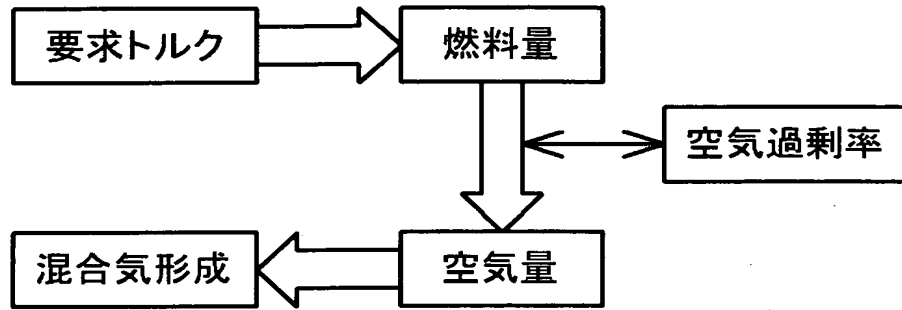
【図 4】



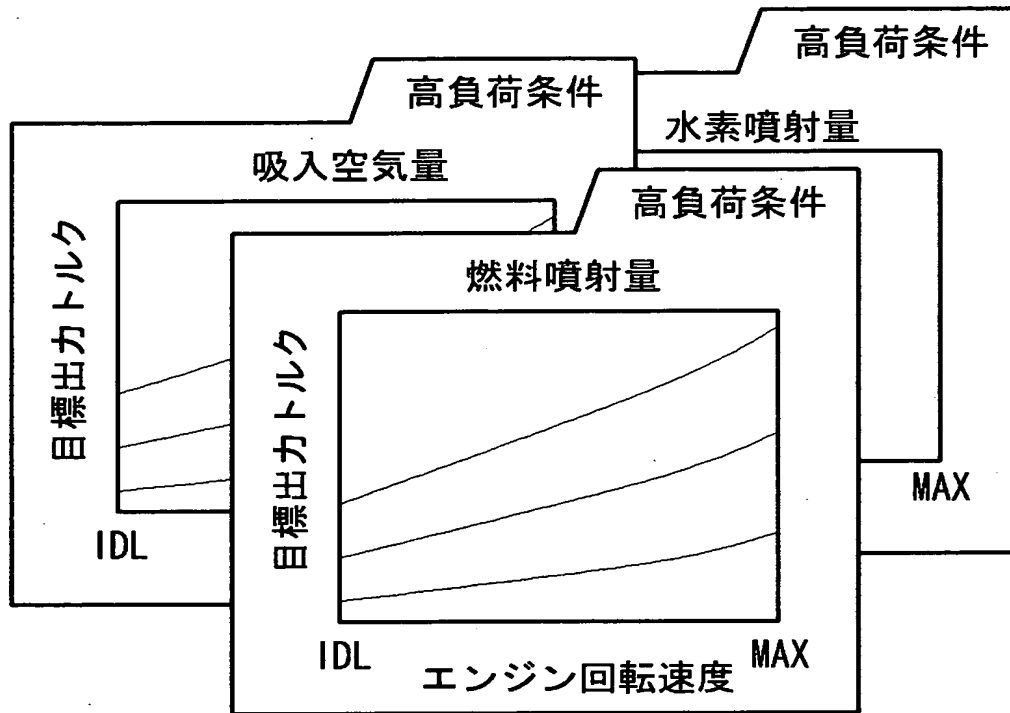
【図 5】



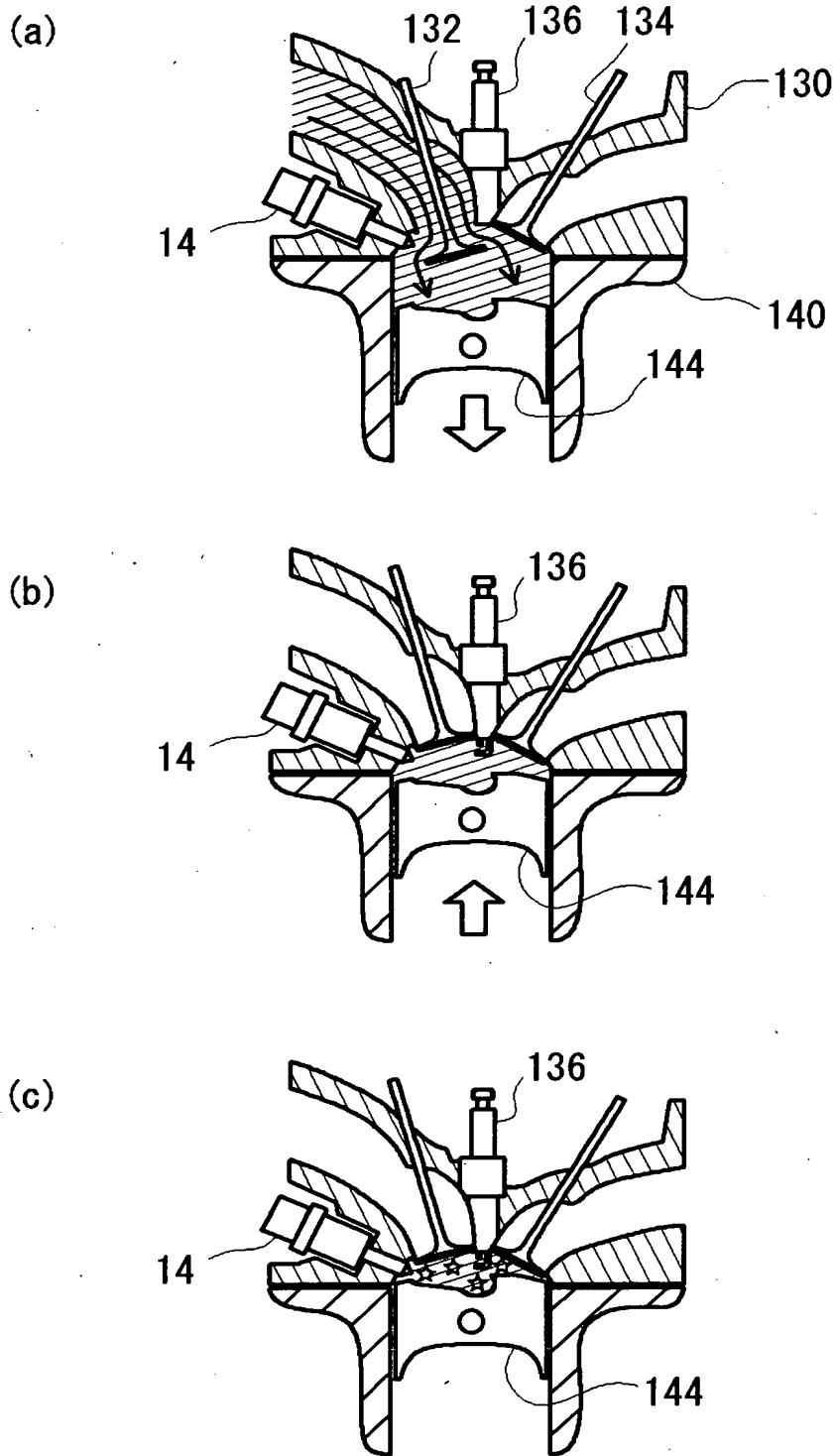
【図 6】



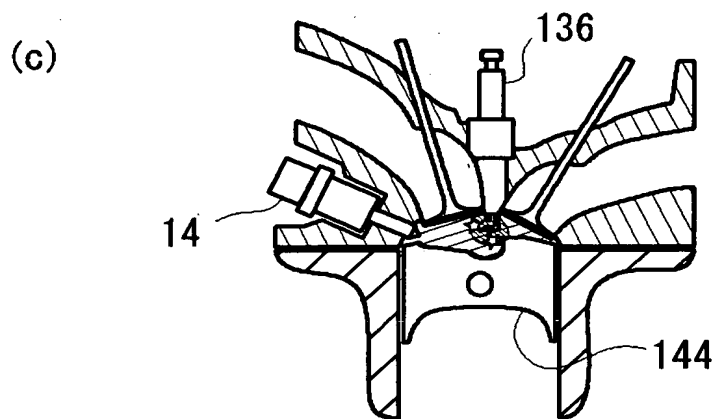
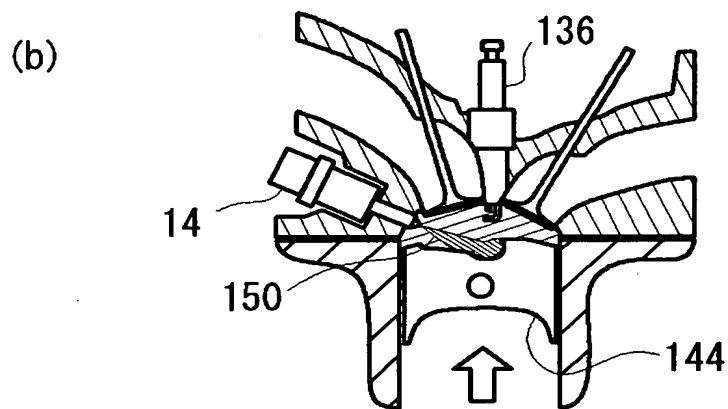
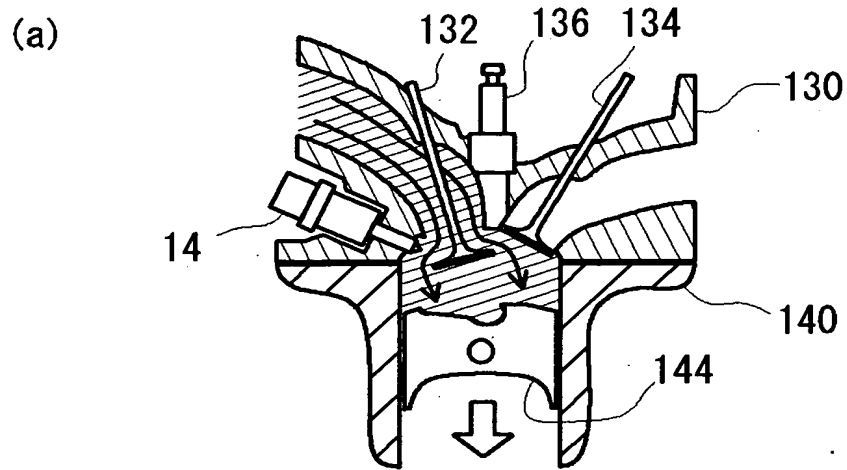
【図 7】



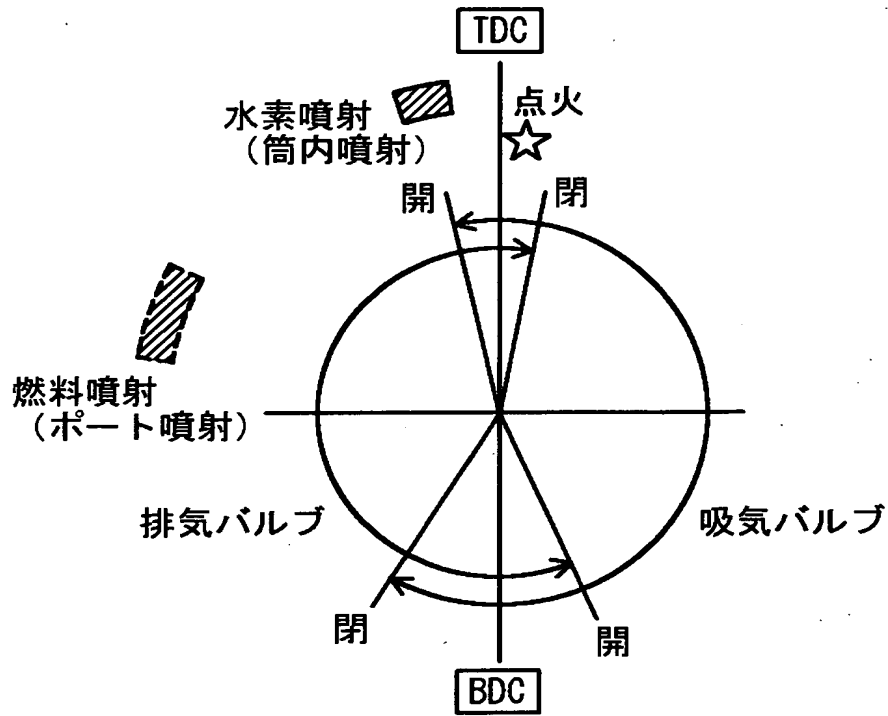
【図 8】



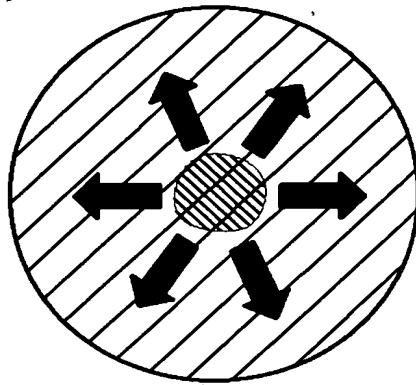
【図9】



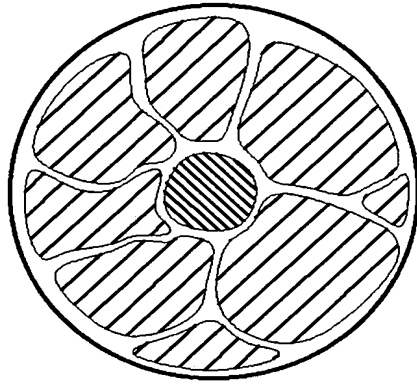
【図10】



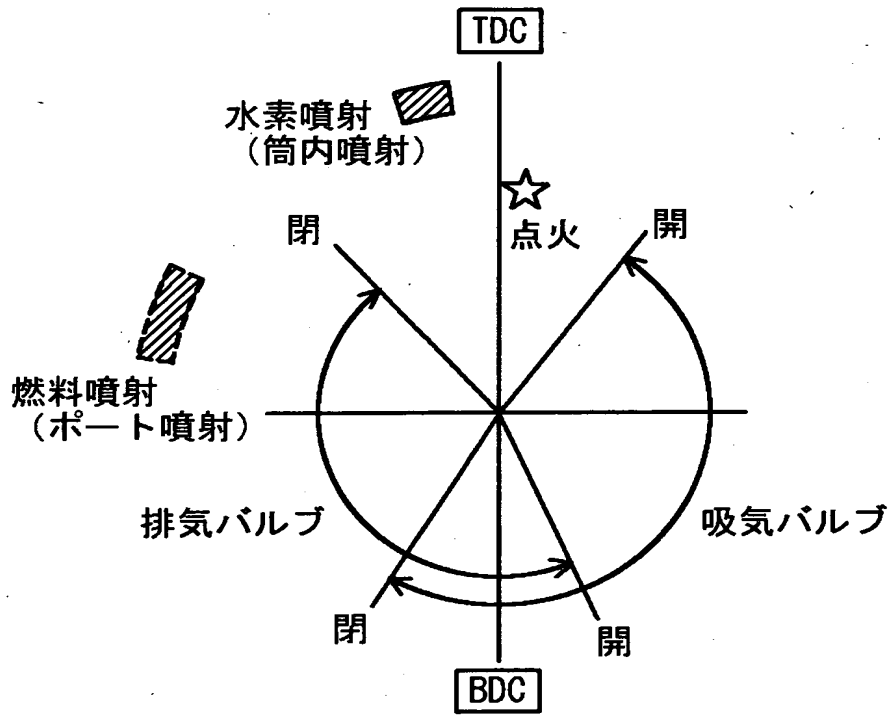
【図 1 1】



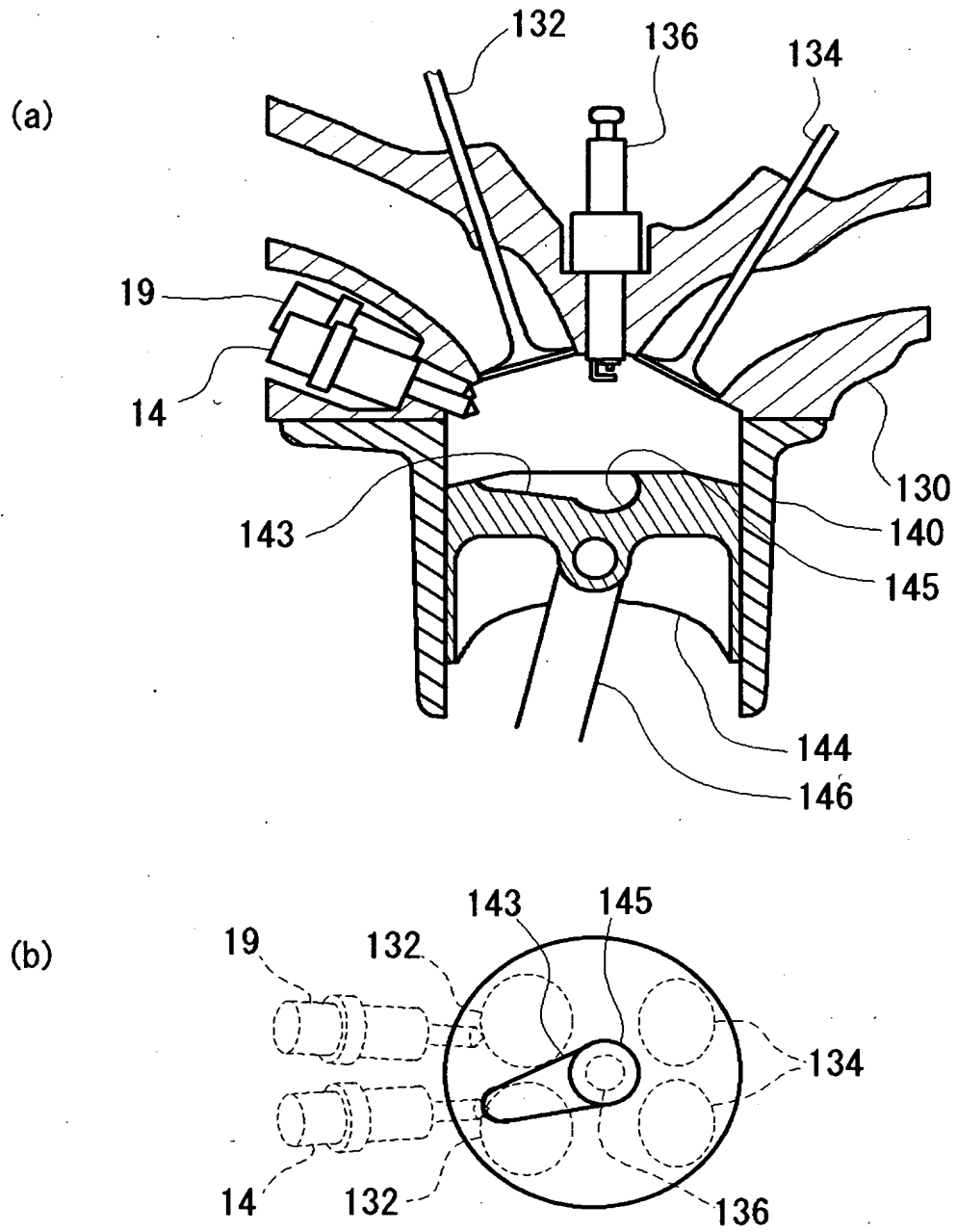
【図12】



【図 1 3】

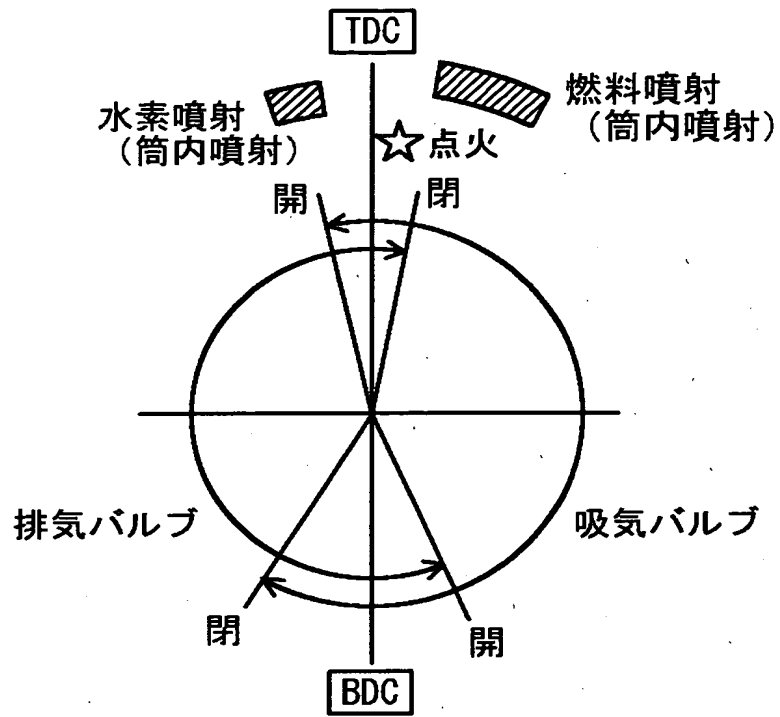


【図 1 4】

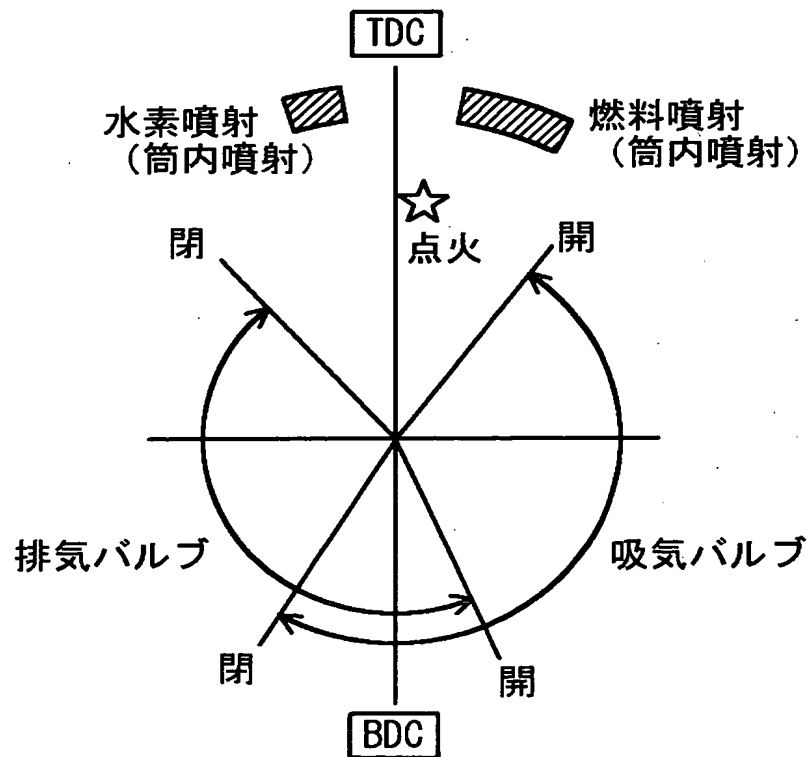


【図 15】

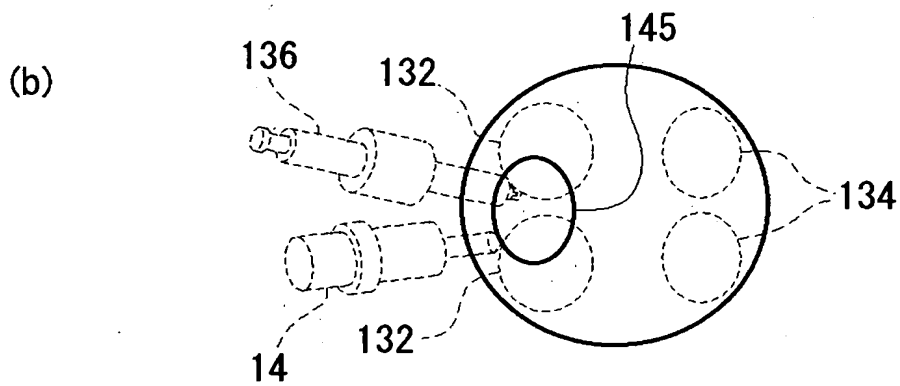
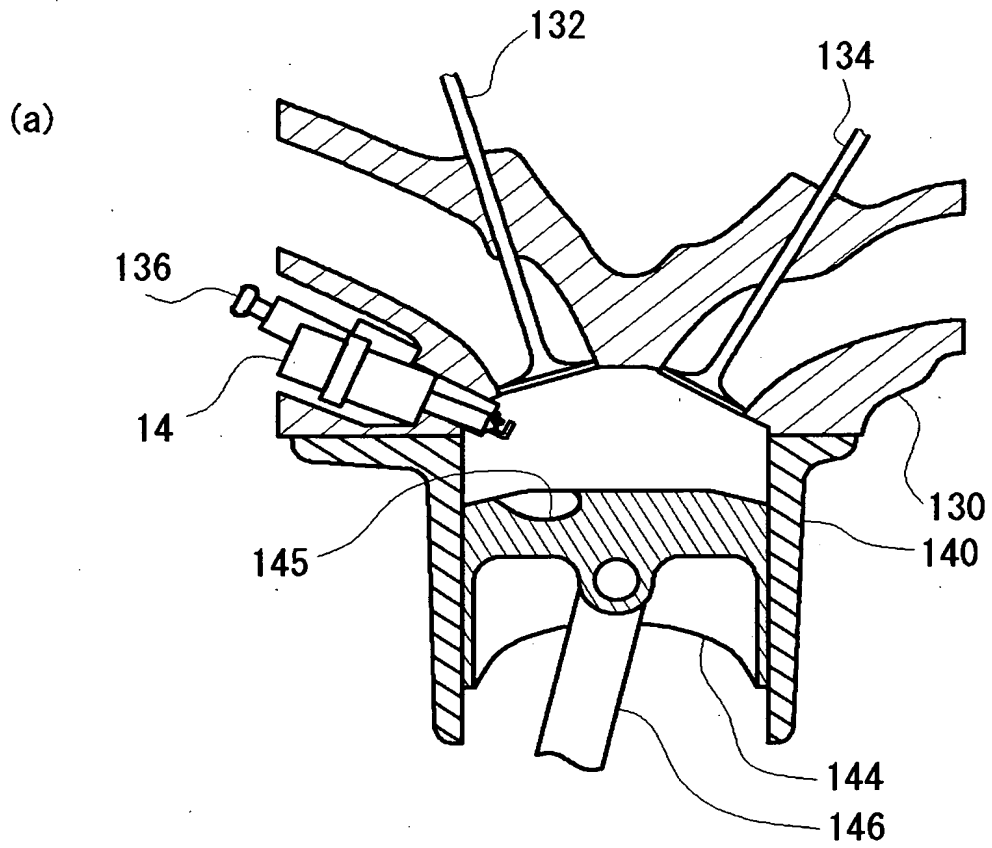
(a)



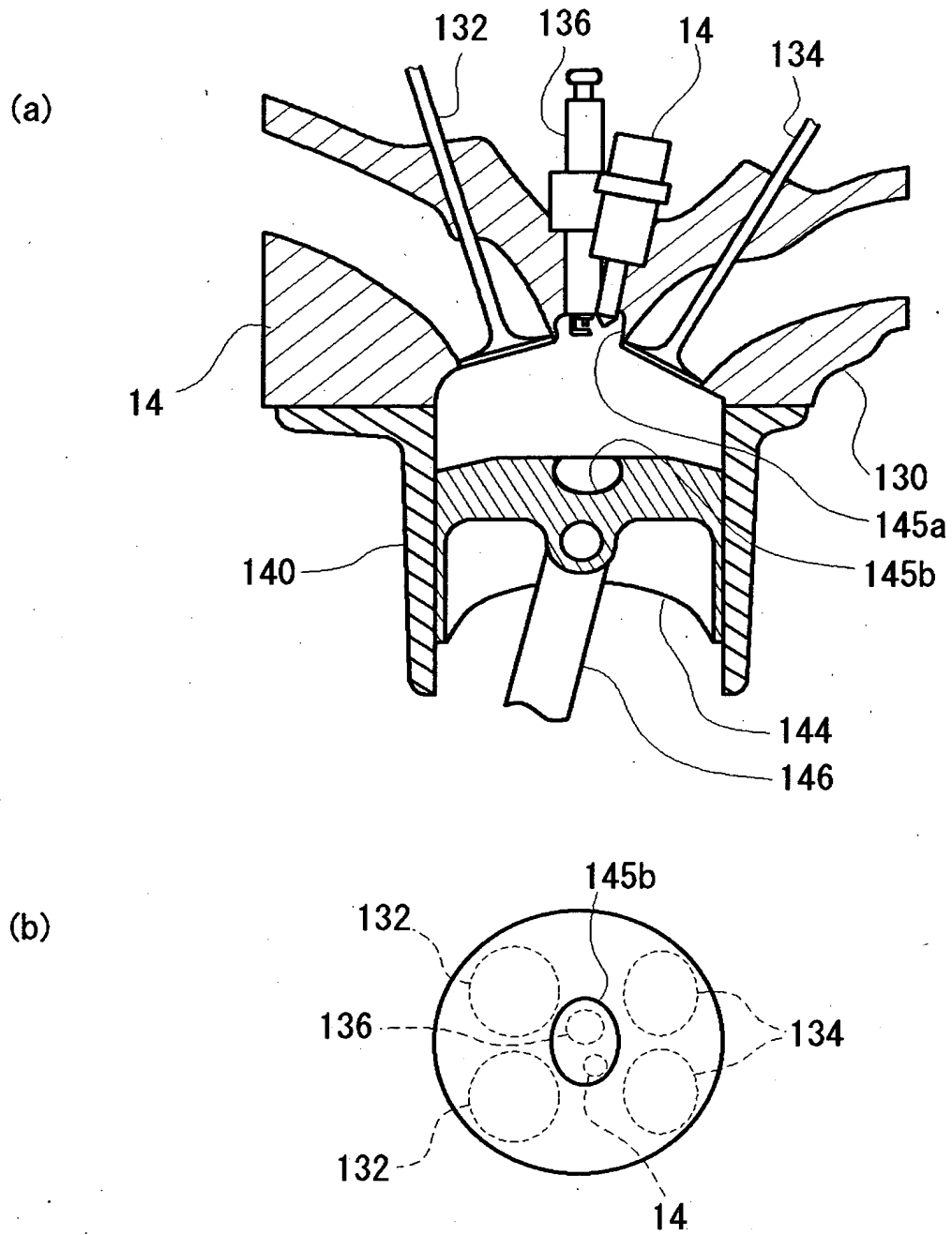
(b)



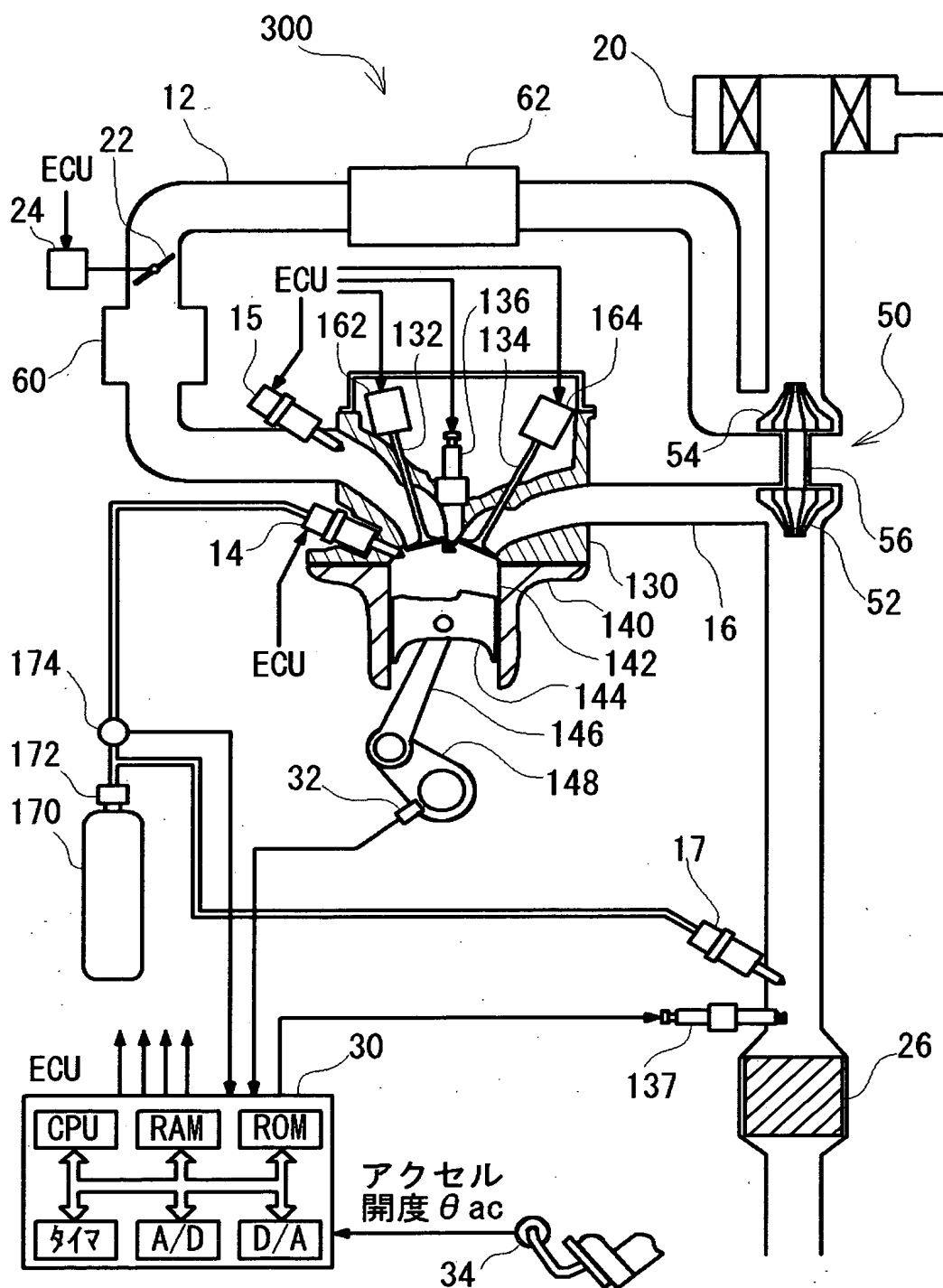
【図 1 6】



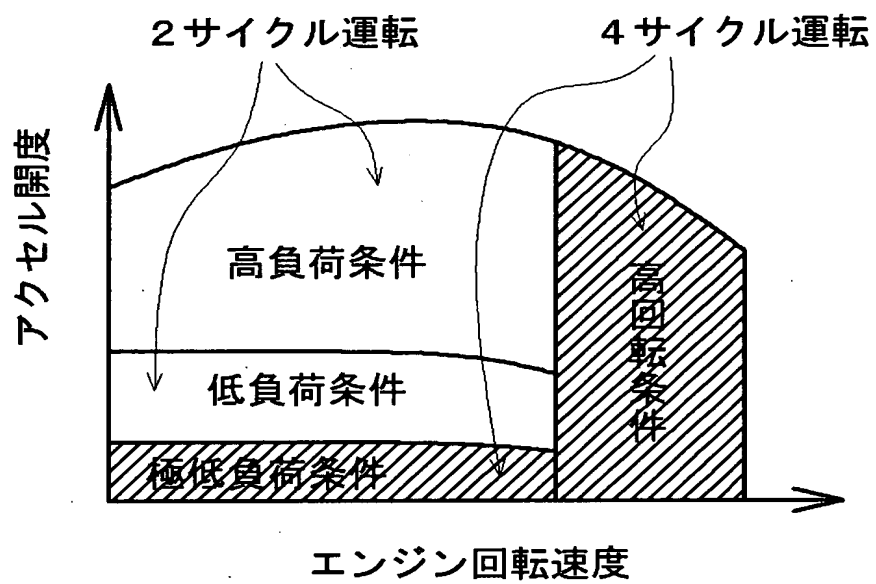
【図 17】



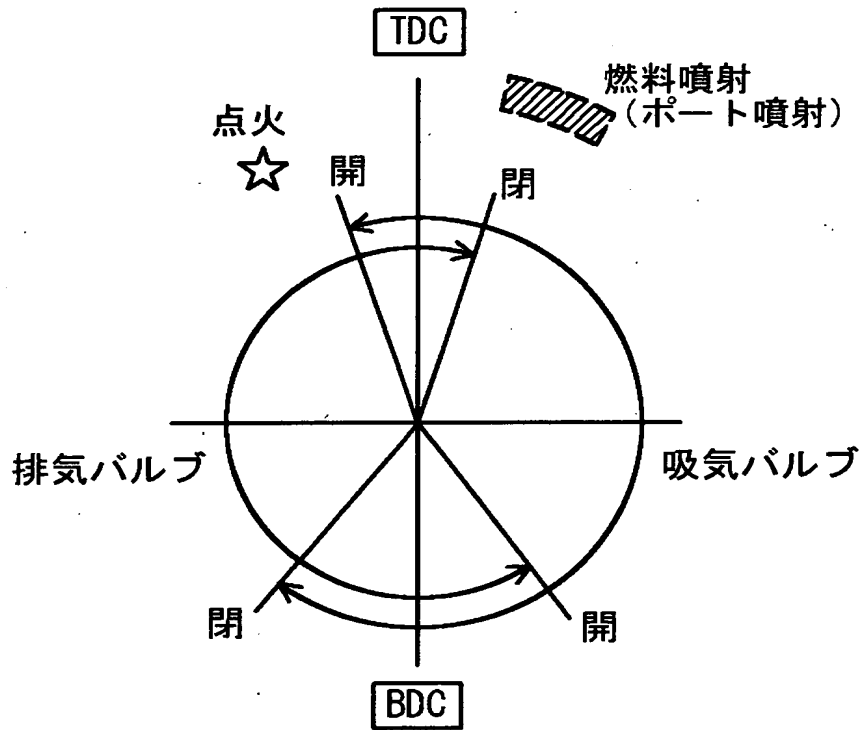
【图 18】



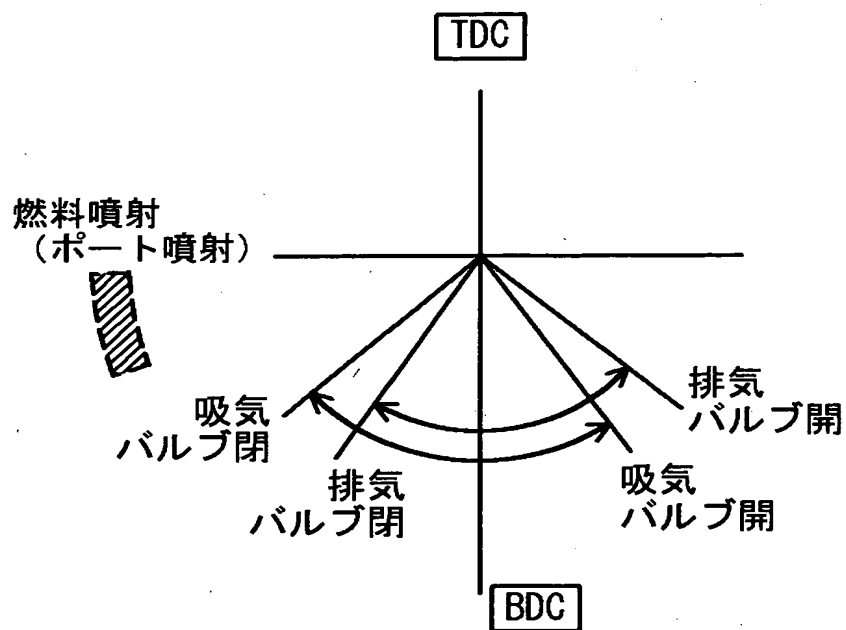
【図 1 9】



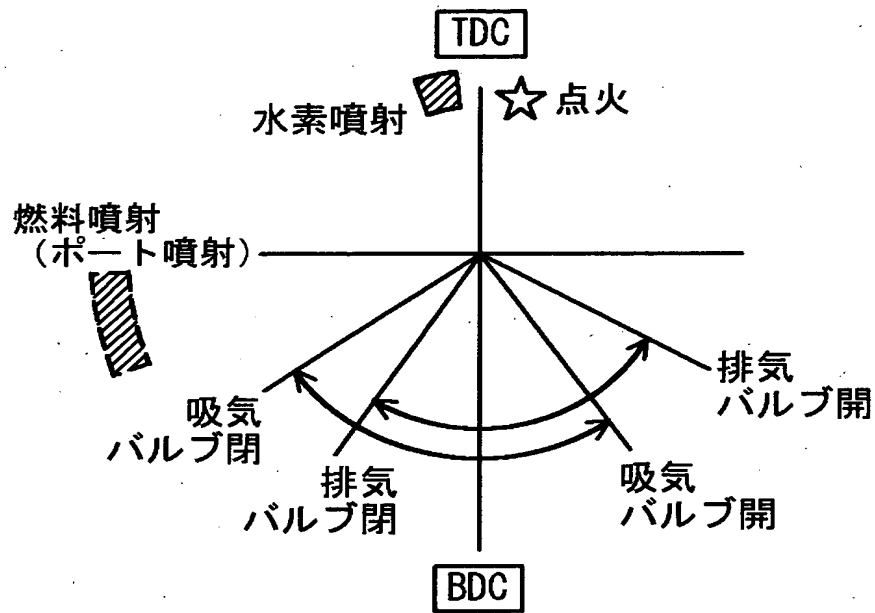
【図 20】



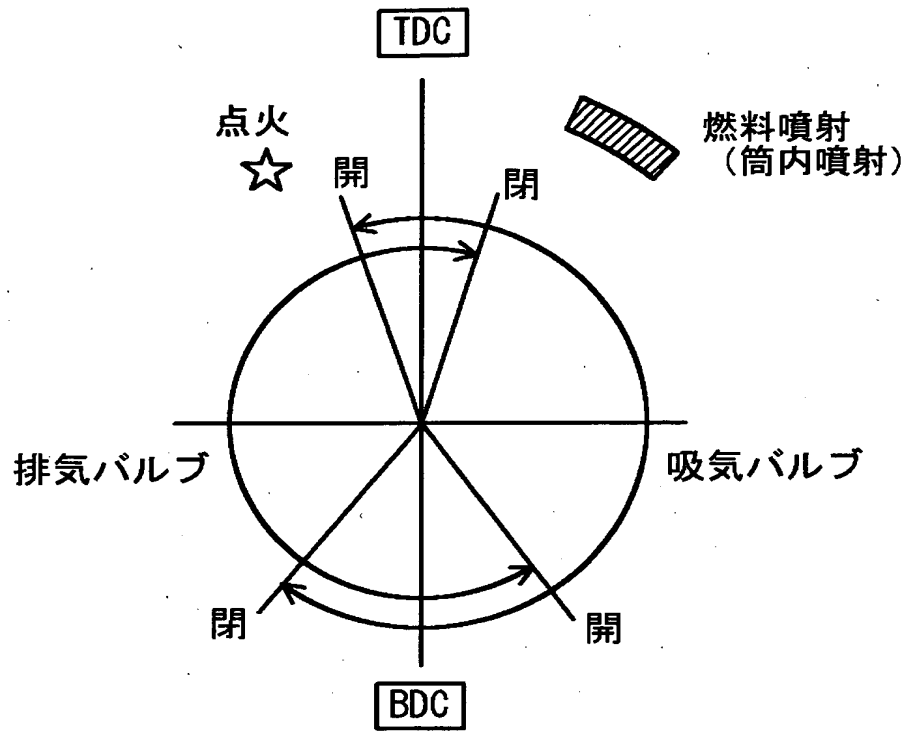
【図 2 1】



【図 2 2】

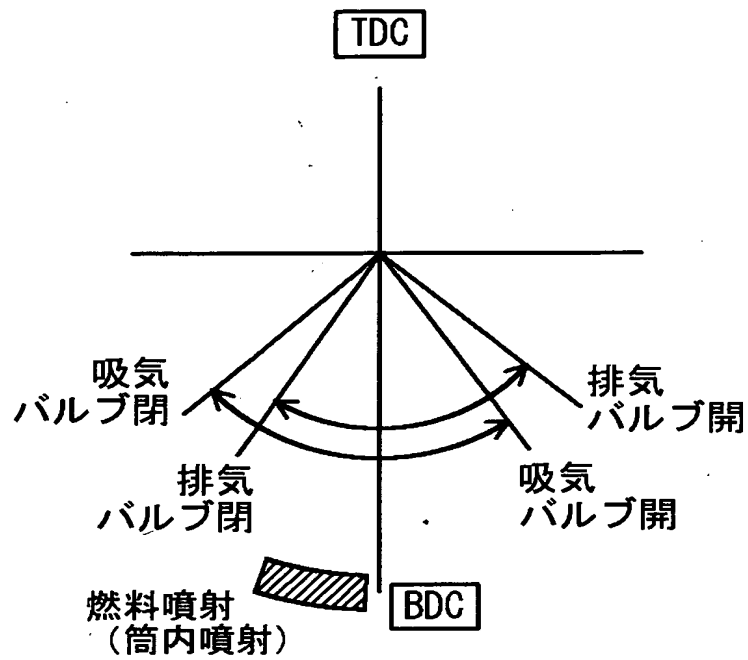


【図 2 3】

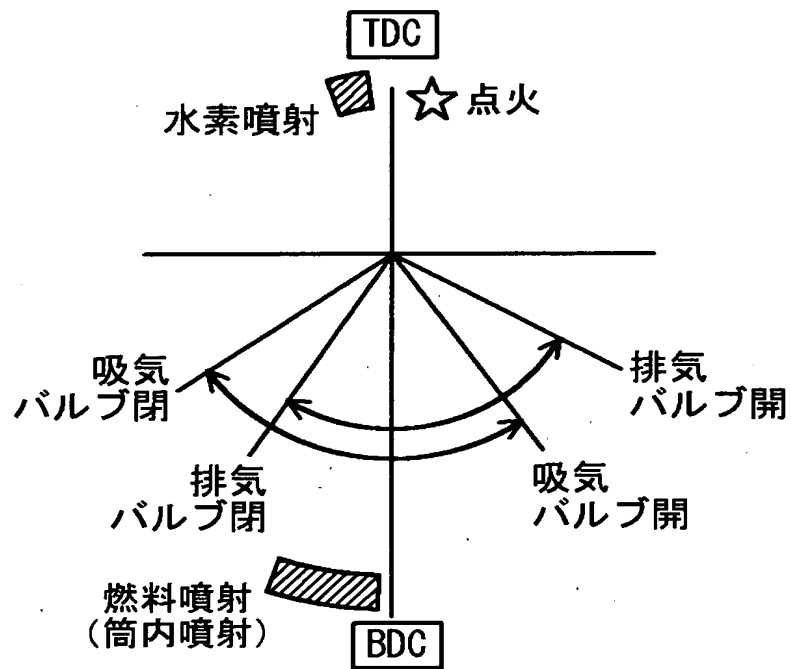


【図 24】

(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 混合気を予混合圧縮自着火させて運転する内燃機関のノックを確実に回避する。

【解決手段】 燃焼室内で圧縮されるだけでは自着火しない割合で第1の燃料と空気が混合した第1の混合気を、該燃焼室内に形成する。次いで、該第1の燃料よりもオクタン価の高い第2の燃料を、該燃焼室内の一部の領域に噴射することにより、第2の混合気を形成する。こうして形成した第2の混合気に点火することにより、該第2の混合気を燃焼させて該第1の混合気を圧縮自着火させる。第2の燃料はオクタン価の高い燃料なので、第2の混合気の燃焼開始時期は点火によって確実に制御することができ、第1の混合気の自着火時期を確実に制御することができる。このため、適切な点火時期を設定することで、ノックの発生を確実に回避することが可能となる。

【選択図】 図9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003207]

1. 変更年月日 1990年 8月27日
[変更理由] 新規登録
住 所 愛知県豊田市トヨタ町1番地
氏 名 トヨタ自動車株式会社